



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# PAKKAUSSOVELLUKSESSA KÄYTETTÄVÄN TARTTUJAN SUUNNITTELU

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Suunnittelupainoiteinen mekatroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Jesse Helminen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

HELMINEN, JESSE:

Pakkaussovelluksessa käytettävän  
tarttujan suunnittelu

Suunnittelupainoitteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 36 sivua, 14 liitesivua

Kevät 2015

## TIIVISTELMÄ

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa pakkaussovellukseen soveltuva tarttuja. Työn tilaajana ja ohjaajana toimi Teijo Lahtinen Lahden ammattikorkeakoulusta.

Työssä perehdytään tarttujan mekaaniseen- ja matemaattiseen suunnitteluun sekä mekaanisen rakenteen käytännön toteutukseen. Näihin aiheisiin lukija johdatellaan robotiikan ja tarttujien historian sekä tarttujiin liittyvän yleistiedon avulla. Työn suunnittelussa sekä valmiiden työpiirrustusten luomisessa käytin 3d-suunnitteluun tarkoitettua SolidWorks-ohjelmistoa. Käytännön toteutuksen suoritin koulun laboratoriosta löytyvillä työkoneilla ja materiaaleilla.

Päätavoite onnistui, eli sain rakennettua toimivan prototyypin tarttujasta sekä luotua valmiit työpiirrustukset, joiden avulla tarttuja voidaan valmistaa. Ideana oli myös automatisoida tarttuja, mutta se jäi ajan puutteen vuoksi tekemättä.

Asiasanat: Tarttuja, SolidWorks

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

HELMINEN, JESSE:

Gripper designed suited for packaging applications

Bachelor's Thesis in mechatronics, 36 pages, 14 pages of appendices

Spring 2015

## ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to design and build a gripper suited for packaging applications. The commissioned and supervised by thesis was Teijo Lahtinen from Lahti University of Applied Sciences.

The thesis describes the mechanical and mathematical planning of the gripper and the building of the mechanical structure. The history of robotics and grippers, and common knowledge about grippers are presented as background information. The SolidWorks program was used in planning and creating technical drawings. The mechanical structure was built with the help of machines and materials found in the school's laboratory.

The main goal succeeded. A working prototype of the gripper was built and technical drawings which were created can be used in manufacturing the gripper. The original idea was also to automate the gripper but it was not done due to time constraints.

Key words: gripper, SolidWorks

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	HISTORIA	2
3	TARTTUJATYYPIT	6
3.1	Mekaaniset tarttuvat	6
3.2	Imu- eli tyhjiötarttuvat	7
3.3	Magneettitarttuvat	8
3.4	Universaalit tarttuvat	9
3.5	Erikoistarttuvat	10
4	SUUNNITTELU	11
4.1	Malli	12
4.2	Suunnitteluprosessin vaihtelu	13
5	KINEMATIikka- JA LUJUUSLASKUT	14
6	TYÖVAIHEET	22
6.1	Moottori	22
6.2	Liitin	22
6.3	Mutteriosa	23
6.4	Runkopalikka	24
6.5	Kehikko	24
6.6	Raajat	25
6.7	Ensitestit	27
6.7.1	Uusi moottori ja taipuva akseli	28
6.7.2	Kierretanko-tappi-yhdistelmä ja laakerointi	29
6.7.3	Suojalevy	30
6.7.4	Muut muutokset	30
6.8	Lopputesti	31
7	TYÖPIIRRUSTUKSET	33
8	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39

## KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET

$F_G$	puristusvoima
$m$	massa
$g$	putoamiskiihtyvyys
$a$	kiihtyvyys
$\mu$	kitkakerroin
$S$	turvallisuuserroin
$M$	momentti
$F$	voima
$P$	tarttupäihin kohdistuva normaalivoima
$B$	B-nivel
$C$	C-nivel
$\alpha$	yhdyslevyjen ja tarttujan varran välinen kulma
$\delta$	vetojännitys
$A$	pinta-ala
$M_t$	taivutusmomentti
$l$	etäisyys
$F_{b,Rd}$	lävistyskestävyys
$k_1$	lävistyskestävyys-tapauksen kerroin (kaava (11))
$\alpha_b$	lävistyskestävyys-tapauksen kerroin (kaava (12))
$e_1$	päätyetäisyys pultin keskipisteestä
$e_2$	sivuetäisyys pultin keskipisteestä
$d_0$	reiän halkaisija
$f_u$	materiaalin murtolujuus
$t$	levyn paksuus
$\gamma_{M2}$	varmuuserroin
$F_{v,Rd}$	pultin lävistyskestävyys
$\alpha_v$	pultin lävistyskestävyys-tapauksen kerroin
$f_{ub}$	murtolujuuserroin
$\beta$	yhdyslevyjen ja y-akselin välinen kulma
$D$	mutteriosa
$\pi$	pii

# 1 JOHDANTO

Tarttumat ovat robottien ja manipulaattoreiden työkaluja, joiden avulla kyseiset laitteet pystyvät käsittelemään erilaisia kappaleita. Vaikka tarttumat ovat huomattavasti pienempiä kuin robotit tai manipulaattorit, joiden päähän ne tulevat kiinni, on niiden suunnittelu robottisovelluksen kannalta aivan yhtä tärkeää. Vaikka robotti olisi kuinka monipuolinen ja tarkasti suunniteltu, ei se pysty tekemään mitään toimintoja ilman hyvin suunniteltua ja rakennettua tarttujaa, joka soveltuu tarvittuun käyttösovellukseen.

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus suunnitella ja rakentaa tarttuma koulun laboratorion kellarissa olevalle linjastoon liitetylle 3-akseliselle robotille. Tarttuman tuli tehdä soveltuvaksi pakkaussovellukseen. Muita sovellus- tai rakennekohtaisia kriteerejä ei ollut, joten sain melko vapaat kädet sen suunnitteluun ja toteutukseen.

Päädyin tekemään sähkökäyttöisellä ruuvimekanismilla toimivan nelisormisen yleistarttuman, joka pystyy tarttumaan erikokoisiin ja –muotoisiin kappaleisiin. Tartuttavan kappaleen materiaalikin voi vaihdella, koska rakensin sekä kovaa, että pehmeitä tarttujapäitä. Tarttuman mekaaninen rakenne nimittäin mahdollistaa tarttujapäiden vaihdon.

Työn kannalta oli tärkeää osata SolidWorks-ohjelmiston käyttö, jota käytin suunnitteluvaiheessa, sekä työn lopuksi valmiin tarttuman työpiirrustusten tekemiseen. Lisäksi minun tuli hallita koulun laboratoriossa olevien työkoneiden käyttö sekä siellä käytössä olevat turvallisuusmääräykset. Jotta pystyin laskemaan tarttumaan kohdistuvat voimat ja rasitukset, joita käsittelen luvussa 5, tuli minun hallita kinematiikan ja lujuuslaskennan perusteet sekä osata soveltaa niitä omassa työssäni.

## 2 HISTORIA

Tarttujen historia on yhtä pitkä kuin robottienkin, sillä robotit ovat olleet alusta saakka kosketuksissa esineisiin. Kappaleenkäsittelyn automaatiosovellutuksissa käytettiin aikaisemmin mekaanisia, hydraulisia ja pneumaattisia toimilaitteita, jotka rakennettiin sovellutuskohtaisiksi. Laitteiden asetukset kestivät useita päiviä, mikäli asetuksia oli mahdollista muuttaa ilman niiden täydellistä uusimista. Tyypillisiä automatisointikohteita olivat tähän aikaan koneessa tapahtuvat kappaleiden siirrot työvaiheiden välillä sekä lopuksi tapahtuva valmiiden tuotteiden purku koneesta. Edellä mainitut automatisointiratkaisut soveltuivat suurien sarjojen ja pitkäikäisten tuotteiden valmistukseen. Tuotanto oli tuohon aikaan yleensä varastotuotantoa, jolloin valmistettiin pitkälle vakioituja tuotteita. Pienien sarjojen yleistymisen sekä vaatimukset tuotannon joustavuudesta ja asiakkaiden tarpeiden toteuttamisesta saivat aikaan sen, että tuotantoautomaatiossa otettiin käyttöön ohjelmallisesti muunneltavat toimi- ja kappaleenkäsittelylaitteet. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.2)

Servo-ohjatut ohjelmoitavat robotit olivat ideaalinen ratkaisu piensarjatuotannon kappaleenkäsittelyn ongelmiin piensarjatuotannossa. 1980- ja 1990-luvuilla robottisovellutukset vastasivat joustavuudeltaan aikaisempia manipulaattori- ja toimilaitteautomatisointeja. Robottien hankala ja työläs ohjelmointi aiheutti sen, että robottien joustavuutta oli vaikea hyödyntää piensarjatuotannossa. Nykyisten robottien käyttövarmuus ja luotettavuus on hyvä. Lisäksi robottien ohjelmointi ja elektroniikka on kehittynyt myös ripeästi. Uuudet tasokkaat ohjelmointikielet helpottavat ja nopeuttavat robottiohjelmien tekoa. Robotteihin liitetyt erilaiset anturit mahdollistavat älykkäiden robottien käytön aikaisempaa vaativimmissa sovellutuksissa, koska ne sopeutuvat ja reagoivat ympäristön muutoksiin automaattisesti. Yksittäisten automaattioratkaisuiden lisäksi robotteja käytetään myös laajempien joustavien automaattisten tuotantojärjestelmien osana. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.2)

Ensimmäinen robottilaitte oli vuonna 1913 rakennettu autopilotti, ja ensimmäinen robottisana kehitettiin vuonna 1923 näytelmässä nimeltä RUR. Ensimmäinen teollisuusrobotti rakennettiin Yhdysvalloissa vuonna 1962, ja ne yleistyivät huomattavasti lähinnä autoteollisuudessa 70-luvulla. Niitä käytettiin siihen aikaan

lähinnä hitsauksessa. Teollisuusrobottien valmistus ja käyttö lähti 80-luvulla rakettimaiseen nousuun, ja vuonna 1995 niitä olikin maailmassa jo 650 00 kappaletta. Suomessa robotisointi lähti myös kasvuun 70-luvulla, mutta täällä pääpaino siihen aikaan maalausrobotiikassa. Robotiikan hitsaus- ja kappaleenkäsittelysovellukset tulivat käyttöön vasta 80-luvulla. Uusia sovelluksia Suomeen tuli seuraavan kerran 90-luvun vaihteessa, kun laserleikkus yleistyi. Tällöin robotteja oli Suomessa kuitenkin vain noin 1000 kpl. Seuraavien vuosien aikana robotiikka onkin ollut kovassa kasvussa Suomessa ja vuonna 2007 niitä laskettiin olevan jo 5821 kpl. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.3)

Kehityksen alkupuolella oli tärkeää pystyä tarjoamaan automaattioratkaisuja, jotka olivat kokonaisia paketteja, kuten esimerkiksi robotti, tarttuja, syöttölaite tai jokin muu valmiiksi kasattu teollisuuden laite. Tällä tavoin pystyttiin olla joustavia sekä reagoimaan kysynnän tarpeisiin. Tästä syystä ensimmäinen tarttuja-moduuli kehitettiin vakiotuotteeksi jo 30 vuotta sitten. Vertaamalla alla olevan kuvan kolmea leukatarttujaa kehityksen eri vaiheissa voidaan huomata selkeä tehokkuuden nousu. SCHUNK:n kehittämä PPG perustarttuja vuonna 1983 tarjosi jo hyvät suhdeluvut tuohon aikaan. Tarttujista on sitemmin tullut huomattavasti kevyempiä, joka on vaikuttanut myös energian ja painon välisen suhdeluvun kasvuun. (Wolf et al. 2005)



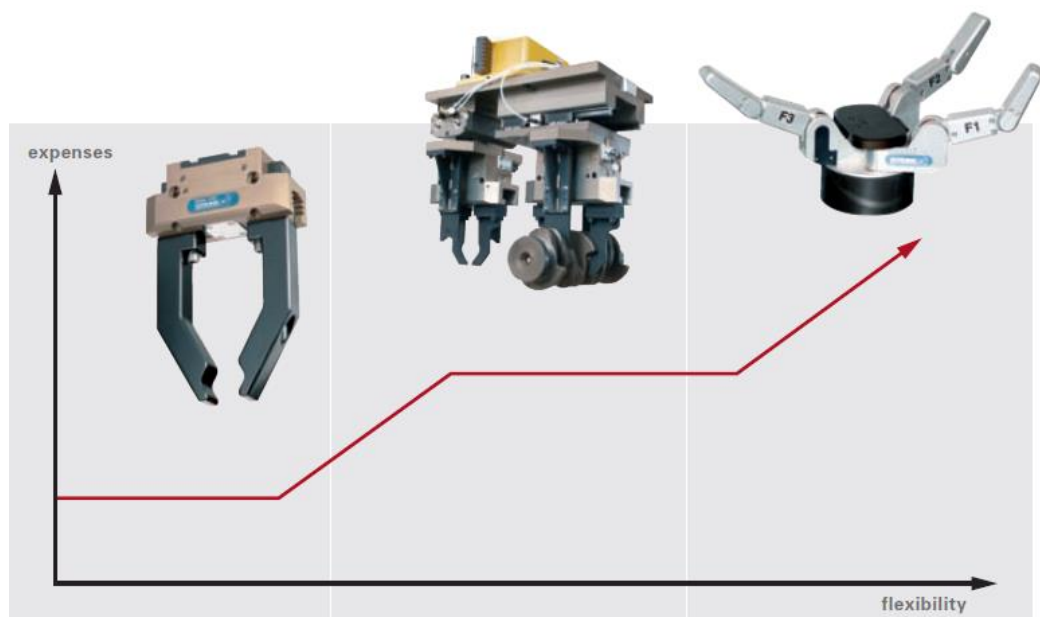
KUVIO 1. Esimerkki tehokkuuden noususta kolmea tarttujaa vertailemalla. (Wolf et al. 2005)



Tarttujakäsiä esimerkkinä käyttäen on hyvä havainnollistaa tarttujien kehitys mekaaniset ratkaisut sekä innovatiiviset sensorit mukaan lukien. Kädet ovat ihmisen joustavimmat työkalut. Ihmisen evoluution alkupuolella käsiä ei kuitenkaan käytetty niin monipuolisesti hyväksi kuin nykyään esimerkiksi näppäimistön näpyttelyssä, kirjoitusvälineiden käsittelyssä tai muiden työkalujen käsittelyssä. Ihmiseltä meni jopa miljoonia vuosia kyseisten motoristen kykyjen hallitsemiseen. Tarttujien kehitys on hyvin samankaltaista kuin ihmisen kehitys käsien motoristen kykyjen hallinnassa. Yksinkertaiset varman kiinnityksen tuottavat tarttumat olivat automaatiotekniikan ensimmäiset käytössä olleet tarttumat, mutta tuotannon lisääntynyt joustavuus edellytti myös tarttujilta enemmän joustavuutta. (Wolf et al. 2005)

Kaksi täysin erilaista keinotekoisia käsityyppiä on kehitetty viime vuosien aikana. Modulaariset kädet voivat yhdistää kinematiikan ja liikkeen. Ne sisältävät kaikki komponentit, joita antureiden tai toimilaitteiden kaltaisissa sovelluksissa tarvitaan. Ne ovat normaalisti suurempia kuin ihmisen kädet, sillä toimilaitteiden tulee olla integroitu käden kinematiikkaan. Integroitujen käsien vahvuutena on se, että ne on integroitu robotin käsivarteen, eivätkä tästä syystä tarvitse lainkaan toimilaitteita. Toimilaitteet ovat yleensä ulkoistettu robotin käsivarteen, joka mahdollistaa suurempien ja tehokkaampien toimilaitteiden käytön. Voimien välitys tarttujan sormiin pitkällä välimatkalla on kuitenkin ongelmallista ja aiheuttaa usein teknisiä ongelmia. (Wolf et al. 2005)

Tarttujat ovat parantuneet huomattavasti toimivuudessa, laadussa sekä anturiteknologiassa. Uusien sovelluskohteiden kasvava määrä on selkeä merkki tästä kehityksestä. Mitä enemmän tarttujalta vaaditaan joustavuutta sekä kykyä toimia useammassa sovelluksessa, sitä enemmän se yleensä maksaa. Alla oleva kuvio vahvistaa tämän toisiasian. Useille automaatiosovelluksille yksinkertainen ja suhteellisen joustamaton tarttuja on kuitenkin riittävä. Vain sovellukset, jotka eivät mahdollista tarttujaan muutoksien tekoa, ja joiden täytyy käsitellä useita erilaisia kappaleita, ovat sellaisia, joissa on tarpeellista investoida erittäin joustavaan tarttujaratkaisuun. (Wolf et al. 2005)



KUVIO 2. Tarttujasovelluksien kustannusten ja joustavuuden suhde (Wolf et al. 2005)

### 3 TARTTUJATYYPIT

Tarttumat voidaan jaotella niiden toimintatavan mukaan mekaanisiin tarttumiin, tyhjiötarttumiin, magneettitarttumiin sekä universaaleihin tarttumiin, joita ovat esimerkiksi erilaiset muotoon mukautuvat tai ihmisen kättä muistuttavat tarttumat. Sovelluskohtaisesti on mahdollista suunnitella myös erikoistarttumat, mikäli kohde ja käyttötapa sitä vaativat.

#### 3.1 Mekaaniset tarttumat

Mekaaninen tartunta perustuu sormien tai paisuvan tarttumaelementin avulla kappaleen koskettamiseen ja tarttumiseen. Työkappaleeseen on mahdollista tarttua muotosulkeisesti kitkan avulla tai hyödyntämällä kappaleen omaa massaa, niin että kappale pysyy tarttumassa pelkän oman painovoimansa avulla. Mekaaninen tartunta voi olla ulko- tai sisäpuolinen. Mekaaniset tarttumat ovat yleensä leukatarttumat, joista yleisimpiä ovat kaksi- ja kolmisormitarttumat, ja joilla Kyseisillä tarttumuilla pystytään kattamaan suurin osa teollisuusrobotiikan tartuntatapauksista.

Useampisormisia tarttumat käytetään lähinnä erikoissovelluksissa.

Tartuntamekanismeja on paljon erilaisia. Tartuntavoimia voidaan välittää esimerkiksi hammaspyörillä ja – tangoilla, nokka-akseleilla, kiiloilla sekä liikeruuveilla. Nykyisin on saatavilla paljon erilaisia tarttumaelementtejä eri valmistajilta, jotka ovat yleensä pneumaattisia, paineilmakäyttöisiä tai sähkökäyttöisiä. Kyseisien tarttumien sormet voivat liikkua joko vastakkaisilla rotaatioliikkeillä, lineaariliikkeillä tai rotaatio- ja lineaariliikkeiden yhdistämisellä. Mekaanisiin tarttumiin voidaan lisäksi integroida pyöritysliike tai jousimekanismi, jonka voima suuntautuu sovelluksesta riippuen joko leukojen avaamiseen tai sulkemiseen. Tarttuman leukojen muodon suunnittelu ja niiden materiaalivalinta tehdään aina sovelluskohtaisesti. (Monkman et al. 2004, Wolf et al. 2005)

Seuraavalla sivulla kuvassa 3 on esitetty esimerkit FESTO:n kaksi- ja kolmesormisista paineilmakäyttöisistä mekaanisista tarttumuista, jotka kuuluvat HGx-sarjaan.



Kuva 3. FESTO:n HGx-sarjan kaksi- ja kolmesormiset tarttujat (Direct Industry 2014)

### 3.2 Imu- eli tyhjiötarttujat

Alipaineeseen perustuvia tartuntaelimiä käytetään sovelluksissa, joissa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa. Imutartunnassa työkappaleeseen tartutaan yleensä ainoastaan yhdeltä suunnalta. Kurviset tai muoviset imukupit mahdollistavat sen, että nostopinta ei naarmuunnu helposti. Imukuppeja lisäämällä saadaan lisää tartuntavoimaa, joka voi tulla tarpeeseen suurien tai painavien kappaleiden käsittelyssä. Usean imukupin järjestelmässä on turvallisuustekijänä otettava huomioon, että jos yksikin imukuppi irtoaa, aiheuttaa se alipaineen häviämisen, joka puolestaan johtaa kappaleen irtoamiseen. Tämä voidaan kumminkin estää käyttämällä asianmukaisia varolaitteita. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.44)

Imukupit vaativat yleensä riittävän tasaisen ja sileän pinnan, joka on myös puhdas ja tiivis. Imuvoima on paine-eron ja imupinta-alan tulo. Tarttujaan ei saa syntyä suuria, tarttujaa vastaan kohtisuoria vertikaalisia voimia, sillä tarttujan aiheuttama sivuttais-liikettä vastustava voima riippuu tarraimen ja kappaleen välisestä kitkakertoimesta. Tartunta kannattaa yleensä toteuttaa keskeisesti niin, että tartunta tapahtuu kappaleen painopisteen kohdalta. Imukuppien materiaalien valinnoilla on mahdollista vähentää käsiteltävien kappaleiden lämpötilan aiheuttamaa ongelmaa. Alipaineen muodostamiseen käytetään kahta päätapaa: ejektoria tai erillistä alipainepumppua.

Imukupin etuna on, että sen rakenne on yksinkertainen ja koska siinä on vähän liikkuvia osia, on se yleensä myös luotettava. Varjopuolina ovat vaara- ja

virhetilanteet, joita voi tapahtua tilanteissa, joissa alipaine äkillisesti katoaa.

Imukuppi ei myöskään keskitä kappaletta. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.44)

Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty esimerkki imukuppitarttujasta.



Kuva 4. VSM Speeder imukuppitarttuja (Simmatic 2014)

### 3.3 Magneettitarttujat

Magneettitarttujia on mahdollista käyttää ainoastaan magneettisille aineille.

Magneetin nostovoimaan vaikuttaa monta asiaa: kappaleen materiaali, muoto, pinnanlaatu, ilmarako sekä magneetin lämpötila. Magneettitarttujan vaatimuksena työkappaleille voidaan pitää riittävän suurta tasaista tartunta-aluetta, sillä magneettikenttä heikkenee nopeasti jos ilmarako kasvaa. Tartunta on yleensä nopeaa, mutta irrotus toimii hitaammin jäännösmagnetismin ansiosta.

Kestomagneettia käyttäessä voidaan tarvita irrotuslaite. Sähkömagneetilla on mahdollista kääntää magneettikentän suuntaa, jonka ansiosta irrotus nopeutuu. Sähkömagneetti kuitenkin lämpenee käytössä, joten työkierto tulee suunnitella siten, että lämpötila ei nouse liikaa. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.45) Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty esimerkki sähköllä ohjattavasta magneetista sekä pneumaattisesti ohjattavasta magneetista.



Kuva 5. FIPA:n sähköinen (MG) magneettitarttuja sekä pneumaattinen (PMG) magneettitarttuja (Eoat-Solutions 2014)

### 3.4 Universaalit tarttumat

Universaali yleispätevä tarttuja on ollut jo monen vuoden ajan eri tahojen kehitystyön kohteena. Ihmisen käden mallintaminen kyseisessä kehitystyössä ollut yleisin ja loogisin lähtökohta, koska käden mallintaminen vaatii kuitenkin 32 vapausastetta sekä tuhansia paikka-, voima- ja lämpötilasensoreita. Muitakin menetelmiä on kehitetty moninivelisten sormien lisäksi. Tällaisia ovat esimerkiksi ilmalla täytettävät kumitaskut, jotka mukautuvat kappaleen muotoon sekä sulavasti kappaleen pintaan mukautuvat sormet, joiden liikutus tapahtuu vaijereiden ja vetopyörien muodostaman mekanismin avulla. Lisäksi on kehitetty myös muovautuvista polymeereistä rakentuvat sormet. Nykyiset universaalit tarttumat ovat pääsäännöllisesti hyvin kalliita, joten tällä hetkellä on järkevämpää suunnitella yksittäisiä tehtäviä varten sovelluskohtaisia tarttumia. (Pham et al. 1986, Lhote et al. 1984) Alla olevassa kuvassa 6 on kuvattu Cornellin ja Chicagon yliopistoiden sekä iRobot - yhtiön yhteistyönä kehittämä universaali tarttuja, joka perustuu rakeilla täytetyn joustavan kumipallon jäykistämiseen tyhjiön avulla.



Kuva 6. iRobot- reapallo tarttuja (Brown et al 2010)

### 3.5 Erikoistarttijat

Erikoistarttujia suunnitellaan ja kehitetään sovelluskohteisiin, joissa toimintaympäristö tai tartunta-kohde luo tarttujalle erityisvaatimuksia. Tämän kaltaisissa sovelluksissa voidaan käyttää käytännössä mitä tahansa olemassa olevia tarttujaelementtejä, toimilaitteita ja mekanismeja. Erikoistarttijat ovatkin juuri edellä mainittujen tartuntamenetelmien erilaisia yhdistelmiä ja muunnelmia. Esimerkiksi rakentamani tarttuja voidaan luokitella erikoistarttujaksi, koska siinä on neljä raajaa, joka on enemmän kuin yleisesti käytettävissä tarttujissa. Lisäksi tarttujan mekaaninen rakenne, joka mahdollistaa tartunnan lähes mihin tahansa halkaisijaltaan 10-80mm:n kokoiseen kappaleeseen tekee tarttujasta erikoistarttujan.

#### 4 SUUNNITTELU

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä mekaanista osaa, jota robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista yleisin on tarttuja. Toiseen ryhmään kuuluvat työkalut, jotka osallistuvat johonkin prosessiin. Tällaisia työkaluja voivat olla esimerkiksi hitsauspistooli, maalausruisku tai liimasuutin. Robottisovelluksessa tarttujan suunnittelu on kiistatta yksi järjestelmäsuunnittelun tärkeimmistä osuuksista. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.42)

Tarttujen suunnittelussa on otettava huomioon useita eri asioita. Tarttujan tulee soveltua osaperheen kaikille eri kappaleille. Tartuttavan kappaleen paino vaikuttaa tarttujatyypin valintaan sekä siihen, kuinka kestävä tarttujasta tulee tehdä. Myös tartuttavan kappaleen materiaali vaikuttaa edellämainittuihin seikkoihin, mutta enimmäkseen siitä voidaan päätellä tarvittavan tartuntavoiman suuruus sekä mahdolliset muodonmuutokset, taipumiset sekä naarmuuntumiset, joita käsiteltävään kappaleeseen voi kohdistua. Suunnitteluvaiheessa on lisäksi tehtävä päätös siitä, millä tavalla haluaa voimien välityksen toteuttaa. Yleisimmät voimien välitystavat ovat paineilma, hydraulikka, magnetismi sekä sähkö. Valittu tarttujatyyppi vaikuttaa myös suuresti voimien välitystavan valintaan sekä siihen, millä tavalla haluaa tarttujaa ohjata. Tilavaatimukset on otettava myös huomioon tarttujaa suunnitellessa. Tarttuja tulee siis suunnitella sen kokoiseksi, että sen on mahdollista tehdä kaikki tarvittavat liikeradat esteettömästi ilman vaaraa osua mihinkään. Jos tarttujalla halutaan käsitellä erikokoisia, -mallisia tai eri materiaalia olevia kappaleita, on suunnitteluvaiheessa tehtävä kompromisseja ja löydettävä yksi yleismaallinen ratkaisu, jolla tartunta haluttuihin kappaleisiin voidaan toteuttaa. Tällöin on otettava huomioon myös tarttujan aseteltavuus sekä se, että tarttuja säilyttää työkappaleen asennon siirron aikana. (LAMK Robotiikan yleinen osa s.42)

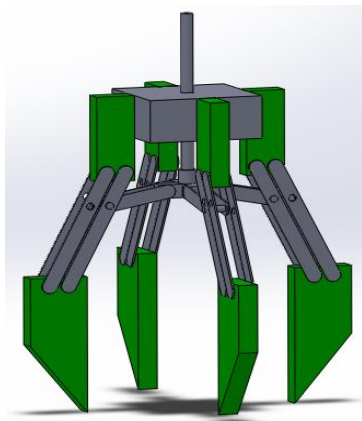
Kun tarttujan suunnittelussa on edetty siihen vaiheeseen, että tiedetään minkälaista tarttujaa ollaan lähdössä tekemään ja millaisia kappaleita ollaan käsittelemässä, on tärkeää tehdä alustavat laskelmat siitä, että tuleeko suunniteltu kokonaisuus kestävänsä vaadittua räsitystä. Tässä vaiheessa on myös helppo valita materiaalit sekä liitostavat tarttujan tekoa varten niiden kestävyysperusteella. Omassa työssäni päätin heti alkusuunnittelun jälkeen piirtää SolidWorks-ohjelmalla



alustavan 3D-mallin tarttujasta. Kyseisen mallin avulla pystyin mitoittamaan tarttujan osat sopivan kokoisiksi ja –pituisiksi sekä varmistamaan, että suunniteltu tarttujan rakenne toimii halutulla tavalla. Tein itse sen virheen, että en laskenut tarttujaan kohdistuvia rasituksia heti 3D-mallin teon jälkeen. Jouduin tästä syystä tekemään hyvinkin radikaaleja muutoksia tarttujan myöhemmässä vaiheessa, koska lujuuslaskut paljastivat sen, että alkuperäisessä suunnitelmassani oli virheitä sekä asioita, joita en ollut miettinyt loppun saakka.

#### 4.1 Malli

Suunnitteluvaiheessa piirsin SolidWorks-ohjelmalla tarttujasta alustavan mallin, jonka pohjalta aloin työstää prototyyppiä. Mallin avulla pystyin havainnollistamaan, että ideoimani suunnikas-malli tarttujan raajoissa toimii teoriassa täydellisesti. Suunnikasmalli tarkoittaa siis sitä, että tarttujan raajoissa olevien kahden varren ansiosta tarttujan päät pysyvät koko ajan samassa asennossa. SolidWorks-mallin avulla pystyin myös mitoittamaan tarttujan raajat ja mutteriosaan kiinnittyvät yhdyslevyt oikeanpituisiksi. Kokeilin paljon erilaisia tyyplejä, mutta päädyin kyseiseen mallin, koska siinä sain suurimman tarttujan auki-kiinni- liikkeen mahdollisimman pienellä mutteriosan pystyttäis- liikkeellä pääruuvilla. Mallia tehdessä suunnittelin myös etekäteen jo materiaalit, joista mikäkin osa tulee tehdä. Päädyin valitsemaan alumiinin runko- ja varsiosiin, ja akryylilevyn tarttujapäihin sekä raajojen kiinnityskohtaan. Malliin merkitsin materiaalit eri väreillä. Harmaa tarkoittaa alumiinia ja vihreä akryylilevyä. Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty kyseinen SolidWorks- malli.



Kuva 7. SolidWorks-malli

## 4.2 Suunnitteluprosessin vaihtelu

Tarttujasuunnittelu on luonteeltaan iteratiivista eli sisältää toistuvaa suunnittelutyötä, jonka avulla suunnittelun kohteena olevan tarttujan ominaisuuksia määritetään. Iteratiivisuuden vuoksi suunnitteluprosessia on vaikea rationalisoida, ja prosessin sisältö vaihtelee projekteittain. Suunnitteluprosessien vaihteluun ja epäsystemaattisuuteen vaikuttavat seuraavat syyt. (Parnas et al. 1986 mukaan)

- Asiakkaat, joille suunnittelua tehdään, eivät tiedä mitä haluavat eivätkä osaa kertoa kaikkea tarvittavaa tietoa.
- Tarvittavaa tietoa ja yksityiskohtia paljastuu vasta kun suunnittelutyössä edetään tarpeeksi pitkälle.
- Suunnittelijat eivät osaa ottaa huomioon kaikkien järjestelmän ominaisuuksien vaikutuksia tai arvioida, mitä kaikkea suunnittelussa tulisi ottaa huomioon.
- Suunnitteluprojektit voivat muuttua ulkoisten syiden vaikutuksista.
- Ihmiset tekevät virheitä.
- Ihmiset suosivat tiettyjä ratkaisuja henkilökohtaisista syistä.
- Suunnittelussa hyödynnetään vanhoja designeja, joissa voi olla tarpeettomia ominaisuuksia.
- Nykyisestä suunnittelukohteesta voidaan suunnitella tulevien projektien kannalta yleishyödyllisempää kokonaisuutta kuin mitä alkuperäiset nykykohteen vaatimukset edellyttäisivät.

## 5 KINEMATIikka- JA LUJUUSLASKUT

Tarttujaan kohdistuvat voimat ja rasitukset on tärkeä tietää, jotta voidaan turvallisesti käyttää tarttujaa. Kinematiikka- ja lujuuslaskujen avulla voidaan myös mitoittaa tarvittaessa tarttujan osia uudelleen ja tehdä parannuksia alkuperäiseen suunnitelmaan. Tässä osiossa tarkastelin tarttujan eri osien kestävyyttä rasitustilanteessa, jonka yhden kilogramman painoisen teräskappaleen nostaminen aiheuttaa sekä laskin kyseisessä työssä moottorilta vaadittavan väännön.

Aloitin laskemalla tartuntavoiman, jonka tarttuja vaatii kyetäkseen nostamaan yhden kilogramman painoisen teräksisen kappaleen. Valitsin teräksen materiaaliksi laskuun, koska siinä on erittäin pieni kitkakerroin. Näin saan siis tulokseksi suurimman puristusvoiman, joka vaaditaan 1kg:n painoisen kappaleen nostamiseen. Laskussa käytän FESTOn infosta nro. 116 muokattua tarttujan puristusvoiman laskukaavaa:

$$F_G = \frac{m \times (g + a)}{4 \times \mu} \times S \quad (1)$$

missä,

$m$  = tartuttavan kappaleen paino

$g$  = putoamiskiihtyvyys ( $10 \frac{m}{s^2}$ )

$a$  = liikkeen aiheuttama kiihtyvyys ( $0 - 6 \frac{m}{s^2}$ )

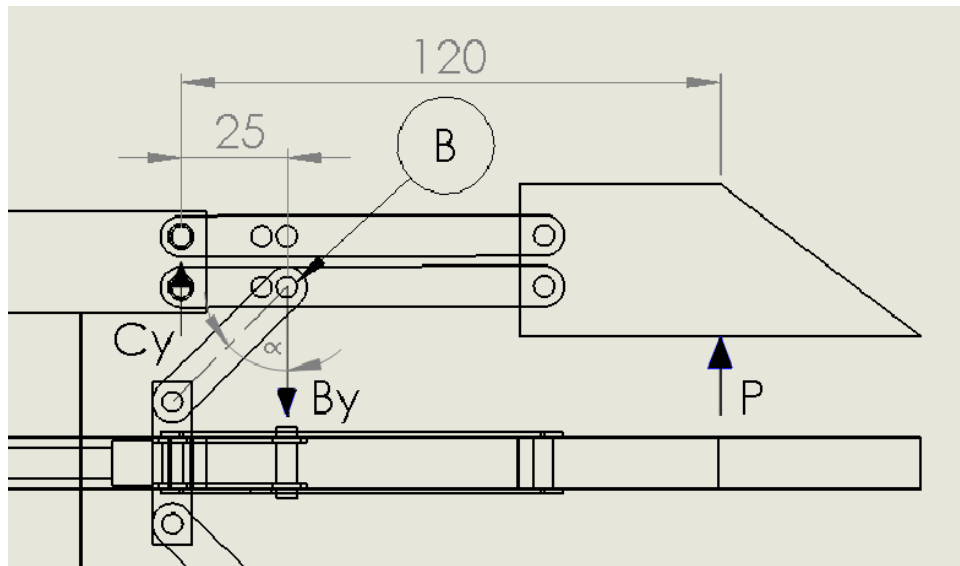
$\mu$  = kitkakerroin (teräkselle 0,25)

$S$  = turvallisuuskertoimen (suositeltu arvo 2 – 3) (FESTO INFO 116 s.4)

$$F_G = \frac{1kg \times 10 \frac{m}{s^2}}{4 \times 0,25} \times 2 = 20N \quad (2)$$

Kaavassa (1) lasketaan yhden tarttujapään puristusvoimaa, joten jokainen tarttujapää puristaa tartuttavaa kappaletta siis 20N:n voimalla nostotilanteessa. Tämä nähdään laskun (2) tuloksesta.

Kun olen laskenut vaadittavan tartuntavoiman, pystyin laskemaan momenttilausekkeen (3) avulla tarttujan B- niveleen vaikuttavan voiman. B- nivelellä tarkoitan tarttujan varren kohtaa, johon mutteriosasta tulevat yhdyslevyt kiinnittyvät. Laskussa P tarkoittaa tarttujapäihin kohdistuvaa puristusvoimaa, jonka laskin edellisessä laskussa (2). Kyseinen voima on integroitu tartuntapään keskelle, koska kappaleeseen tulee aina jos mahdollista tarttua koko tarttujapäiden mitalla.  $C_y$  on rasitus, joka kohdistuu tarttujan varsien ja rungon kiinnityskohtaan, ja jonka laskin laskussa (4). Kyseinen arvo ei ole luotettava, koska rasitus jakautuu molempien varsien kiinnityskohtaan. Laskun (4) tarkoitus onkin vain havainnollistaa kyseiseen kohtaan aiheutavaa rasitusta ja verrata sitä B-nivelen rasitukseen. Alla oleva SolidWorks-ohjelmalla tehty kuva 8 havainnollistaa laskua.



Kuva 8. Laskussa käytettävät mitat, kulmat, pisteet ja voimat

$$\sum M_c = P \times 120\text{mm} - B_y \times 25\text{mm} = 0 \quad (3)$$

$$B_y = 96\text{N}$$

$$\sum F_y = P + C_y - B_y = 0 \quad (4)$$

$$C_y = 76\text{N}$$

B-niveleen kohdistuu siis suurin rasitus tarttujan puristustilanteessa. Tämä nähdään laskuja (3) ja (4) tuloksia vertailemalla.

Tarttujan mennessä auki ja kiinni B-nivelessä kiinni olevien yhdyslevyjen kulma suhteessa tarttujan varteen muuttuu jatkuvasti. Tämä kulma on esitetty kuvassa 8 symbolilla  $\alpha$ . Mitä suurempi kyseinen kulma on, sitä suurempi rasitus niveleen kohdistuu. Tästä syystä laskin maksimirasituksen (5) ja minimirasituksen (6), joka niveleen voi kohdistua:

$$B_{MAX} = \frac{96N}{\cos 55^\circ} = 167N \quad (5)$$

$$B_{MIN} = \frac{96N}{\cos 15^\circ} = 99N \quad (6)$$

Kulma  $\alpha$  on suurimmillan silloin, kun tarttuja on lähes kiinni-asennossa. Laskusta (5) huomaamme, että tällöin kyseisen kulman suuruus on 55 astetta ja rasitus on huomattavasti suurempi kuin laskussa (6), jossa kulma on 15 astetta ja tarttuja auki-asennossa.

Seuraavaksi laskin yhdyslevyihin kohdistuvan vetojännityksen (7). Tarttujan puristaessa kappaletta yhdyslevyihin kohdistuu vetojännitystä. Laskussa käytän Esko Valtasen kokoamassa Tekniikan taulukkokirjasta esitettyä vetojännityksen kaavaa:

$$\delta = \frac{F}{A} = \frac{\frac{167N}{2}}{8mm^2} = 10,4MPa \quad (7)$$

missä,

$F = \text{kappaleeseen kohdistuva vetovoima}$

$A = \text{levyn poikkipinta} - \text{ala}$  (Valtanen 2010 s.459)

Laskussa (7) voima F on jaettu kahdella, koska halutaan saada yhden levyn vetojännitys. Kun saatua vetojännityksen (7) tulosta verrataan alumiinin murtolujuuteen, joka on 65MPa:ia, huomataan, että se on huomattavasti pienempi. Näin ollen yhdyslevyt kestävät helposti niihin kohdistuvan vetojännityksen.

Tämän jälkeen laskin yhdyslevyihin kohdistuvan taivutusrasituksen (8). Tarttujan puristaessa kappaletta sen varteen kohdistuu taivutusjännitystä. Laskussa käytän Esko Valtasen kokoamassa Tekniikan taulukkokirjassa esitettyä taivutusmomentin kaavaa:

$$M_t = F \times l = 96N \times 0,095m = 9,12Nm \quad (8)$$

missä,

$$F = \text{kappaleeseen kohdistuva kohtisuora voima}$$

$$l = \text{etäisyys voimasta } F \text{ (Valtanen 2010 s.460)}$$

$$\frac{9,12Nm}{2} = 4,56Nm \quad (9)$$

Saatu taivutusrasituksen (8) tulos täytyi jakaa vielä kahdella (9) , koska varressa on kaksi alumiinilevyä vierekkäin, jolloin rasitus siis jakautuu molemmille tasapuolisesti.

Koska yhdyslevyihin kohdistuva vetojännitys oli niin pieni verrattuna alumiinin murtolujuuteen sekä taivutusjännityskin jäi hyvin pieneksi, päätin vielä laskea lävistävyyskestävyyden (10) , jonka B-nivelen yhdyslevyt kestävät. Laskussa lasketaan siis yhden yhdyslevyn kestävyyttä B-nivelen liitoksen kohdassa. Laskussa käytän Eurokoodin SFS-EN 1993-1-8 Taulukossa 3.4 esitettyä lävistyskestävyyden kaavaa:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d_0 \times t}{\gamma_{M2}} \quad (10)$$

missä,

$$k_1 = 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \quad (11)$$

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3 \times d_0} \quad (12)$$

$$e_1 = \text{päätyetäisyys pultin keskipisteestä}$$

$$e_2 = \text{sivuetäisyys pultin keskipisteestä}$$

$d_0 = \text{reiän halkaisija}$

$f_u = \text{materiaalin murtolujuus (alumiinilla 65MPa)}$

$t = \text{levyn paksuus}$

$\gamma_{M2} = \text{varmuuskerroin (SFS-EN Taulukko 3.4)}$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,1 \times 0,417 \times 65 \text{MPa} \times 4 \text{mm} \times 1 \text{mm}}{1,25} = 95,4 \text{N} \quad (13)$$

$$95,4 \text{N} \times 2 = 191 \text{N} \quad (14)$$

Kerroin saadun tuloksen kahdella (14) , koska yhdeslevyjä on kaksi kappaletta vierekkäin, ja saatu tulos (13) on yhden levyn maksimi-lävistyskestävyys. Näin saatu tulos (14) on siis B-nivelen maksimirasitus, jonka se kestää ennen kuin yhdyslevyt pettävät liitoksen kohdalta.

Kun verrataan lävistyskestävyys-laskussa (14) saatua tulosta B- nivelen maksimirasitukseen (5) yhden kilogramman painoisella kappaleella huomataan, että juurikaan painavampaa kappaletta ei pystytä tarttujalla turvallisesti nostamaan, koska tulokset ovat niin lähellä toisiaan.

Lävistyskestävyys-laskusta (14) voimme vetää sen johtopäätöksen, että tarttujan heikoin kohta on yhdyslevyjen liitoskohta B-niveleen. Jotta tarttujalla voitaisiin nostaa painavampia kappaleita, tulisi yhdyslevyjä siis vahvistaa. Tämä onnistuisi kahdella tavalla. Levyjen paksuutta voitaisiin kasvattaa 3mm:iin, joka on teollisuudessa käytetty minipaksuus tai käyttää levyjen valmistuksessa alumiinin sijasta terästä. Ohessa teoriittiset laskut siitä, kuinka paljon lävistyskestävyys kasvaa näillä kahdella eri tavalla.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,1 \times 0,417 \times 65 \text{MPa} \times 4 \text{mm} \times 3 \text{mm}}{1,25} = 286,2 \text{N} \quad (15)$$

$$286,2 \text{N} \times 2 = 572,4 \text{N} \quad (16)$$

Laskuissa (15) ja (16) huomaamme, että kasvattamalla yhdyslevyjen paksuutta 3mm:iin saadaan 300% enemmän lävistyskestävyyttä.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,1 \times 0,417 \times 360 \text{ MPa} \times 4 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}}{1,25} = 528,4 \text{ N} \quad (17)$$

$$528,4 \text{ N} \times 2 = 1056,8 \text{ N} \quad (18)$$

Kaavassa käytetty 360Mpa on standarditeräksen S235JR vähimmäismurtolujuus. (Kolehmainen 2013) Laskuissa (17) ja (18) huomaamme, että käyttämällä alumiinin sijasta terästä saadaan 550% enemmän lävistyskestävyyttä.

Saaduista teoreettisista tuloksista (16) ja (18) voidaan päätellä, että yhdyslevyjen paksuuden kasvattaminen on järkevämpi vaihtoehto, koska 300%:n nousu lävistyskestävyydessä on hyvin huomattava. Yhdyslevyjen materiaalin vaihto teräkseen ei mielestäni ole järkevää, koska saaduilla kestävyyksillä pystyttäisiin nostamaan jo hyvinkin järeitä kappaleita, eikä tarttujan kokoa tai rakennetta ole suunniteltu sellaiseen tehtävään. Lisäksi tarttujalle tulisi huomattavasti enemmän painoa.

Päätin vielä varmuuden vuoksi laskea B- nivelessä olevan pultin kestävyys. Laskussa (19) käytän Eurokoodin SFS-EN 1993-1-8 Taulukossa 3.4 esitettyä pultin kestävyys kaavaa:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \quad (19)$$

missä,

$$\alpha_v = 8.8 \text{ tyyppisille pulteille arvo on } 0,6$$

$$f_{ub} = 8.8 \text{ tyyppisille pulteille arvo on } 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A = \text{pultin ala } (\pi r^2)$$

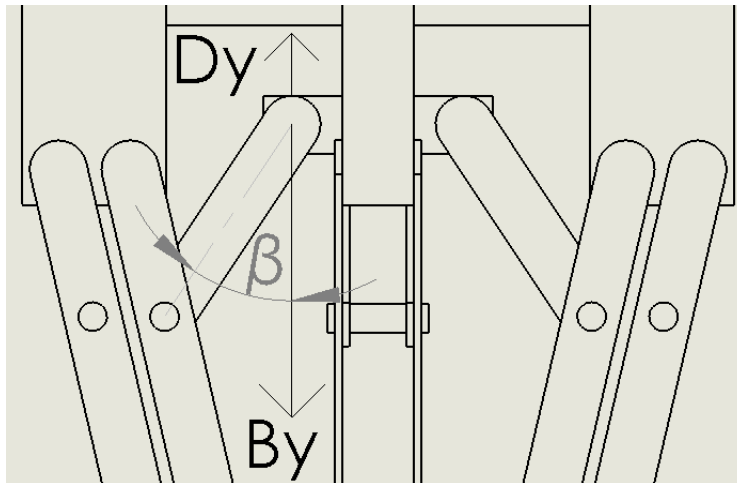
$$\gamma_{M2} = \text{varmuuskerroin (SFS-EN Taulukko 3.4)}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times (\pi \times (2 \text{ mm})^2)}{1,25} = 4,8 \text{ kN} \quad (20)$$

Laskun (20) tuloksesta voidaan helposti päätellä, että B- nivelessä käytetyt ruuvit ovat ylimitoitettuja, eikä niiden kestävyttä tarvitse epäillä.



Lopuksi laskin väännön (25) , joka moottorilta tarvitaan, jotta tarttuja kykenee nostamaan 1kg:n painoisen kappaleen. Laskussa  $B_{y1...y4}$  ovat jokaisen tarttujavarren mutteriosaan vaikuttava vetojännitys tarttujan puristustilanteessa. Laskussa (22) käytän laskussa (5) saatua tarttujan B-nivelen maksimirasitusta sekä kuvassa 9 esitettyä kulmaa  $\beta$ , jotta saan laskettua mutteriosaan vaikuttavan y-suuntaisen voiman. Kulma  $\beta$  on 35 astetta maksimirasitustilanteessa, jossa tarttuja on lähes kiinni-asennossa.  $D_y$  kuvaa voimaa, joka tarvitaan tasapainotilanteen (21) ylläpitämiseen. Se on siis voima, jolla moottorin on vedettävä mutteriosaa ylöspäin puristustilanteessa, jotta aikaansaadaan haluttu puristus. Alla oleva SolidWorks-ohjelmalla tehty kuva 9 havainnollistaa laskua.



Kuva 9. Laskuissa käytetyt kulmat ja voimat

$$\sum F_y = B_{y1} + B_{y2} + B_{y3} + B_{y4} - D_y = 0 \quad (21)$$

$$B_{y1} = B_{y2} = B_{y3} = B_{y4} = B_{MAX} \times \cos 35^\circ = 137N \quad (22)$$

$$D_y = 4 \times 137N = 548N \quad (23)$$

Seuraavaksi laskin moottorilta tarvittavan väännön kyseisessä rasiustilasteessa. Laskussa (23) tulokseksi saatu voima on voima, jolla moottorin tulee ruuvikäytössä liikuttaa mutteriosaa. Laskussa (24) käytän Feston support community- palstalla olevassa Matt Raymentin kirjoittamassa ”Torque calculation”- foorumikirjoituksessa esitettyä kaavaa moottorin väännön laskentaan ruuvikäytöissä:

$$Vääntö(Nm) = Voima(N) \times \frac{Nousu(m)}{2 \times \pi \times 0,4} \quad (24)$$

missä,

0,4 = *ruuvikäyttöön suositeltu arvo* (FESTO Torque calculation)

$$548N \times \frac{0,001m}{2 \times \pi \times 0,4} = 0,218Nm \quad (25)$$

Laskussa (25) saatu tulos on väännön arvo, joka moottorilta vähintään tarvitaan yhden kilogramman painoisen teräksisen kappaleen tarttumiseen ja nostamiseen. Kun tätä arvoa verrataan seuraavassa osiossa esitettyjen valitsemieni moottorien väännön arvoihin huomataan, että ensimmäinen valitsemani moottori oli tehoiltaan aivan liian vaisu. Jos olisin laskenut edellä esitetty laskut varhaisemmassa vaiheessa olisin välttynyt lisätyöltä, jota tarvittavien muutoksien teko moottorin uusinnassa vaati.

## 6 TYÖVAIHEET

Suunnitteluvaiheen jälkeen oli aika rakentaa tarttujasta toimiva prototyyppi. Rakennustyön suoritin Lahden ammattikorkeakoulun laboratorio-tiloissa Tässä kappaleessa esittelen kaikki rakennusurakan työvaiheet sekä prototyypissä käytetyt komponentit.

### 6.1 Moottori

Aloitin työurakan etsimällä oikeanlaisen moottorin, joka sopisi käyttötarkoituksiini. Moottorin tuli olla pienikokoinen tasavirtamoottori, joka olisi helppo ja mahdollinen liittää ruuviin. Lopulta valitsin MAXON- merkkisen tasavirtamoottorin. Se on kompaktin kokoinen moottori, jonka tiedot ovat seuraavat: maksimijännite on 24 voltia, ominaiskierrosnopeus 2420 rpm, kierrosnopeus ilman kuormaa 4110 rpm, ominaisvääntö 13,6 mNm ja ominaisvirta 0.251 A. Suunnittelemassani ruuvikäyttöisessä mekanismissa normaaliin liikkeeseen vaikuttava vääntö on erittäin pieni. Vääntöä tarvitaan silloin enemmän, kun halutaan tarttua objektiin sekä halutaan, että tartuttavaan objektiin kohdistuu puristusvoimaa. Mitä enemmän halutaan puristusvoimaa, sitä enemmän moottorilta tarvitaan vääntöä. Moottorin kierrosnopeus riittää mainiosti, koska ruuvi pyörii moottorin kanssa samaa tahtia. Tällöin ruuvi siin pyörii noin 40 kierrosta sekunnissa. Koska ruuvi on standardikokoinen M6- ruuvi yhden millimetrin nousulla, siinä kiinni oleva mutteri liikkuu tällöin 40mm:n matkan sekunnissa. Mitoitin ruuvikäytön niin, että tarttujan mennessä maksimiasennosta kiinni, mutteri liikkuu noin 20mm:n matkan ruuvilla. Moottorin kierrosnopeuden alentaminen onnistuu helposti tasavirta-säätimellä.

### 6.2 Liitin

Jotta sain pääruuvin kiinnitettyä moottorin päähän, niin että se pyörii moottorin kanssa samaa tahtia, täytyi minun rakentaa oma liitin moottorin ja ruuvin väliin. Tärkein asia liittimen tekemisessä ja suunnittelussa oli se, että siitä ei tule epäkeskoa. Yhden millimetrinkin heitto liittimessä vaikuttaa suuresti pääruuvuvin tapaan pyöriä. Jos pääruuvi ei pyöri aivan suorassa, vaikuttaa se värähtelevänä ja nykivänä liikkeenä tarttujan raajoihin. Aloitin työstämisen sahaamalla

rautatangosta sopivan pituisen pätkän, jonka keskelle sorvasin 5mm:n reiän. Reiän toiseen päähän tein 6mm:n kierteet, johon sain pääruuvien kierrettyä, ja toisen pään suurensin poralla 6mm:iin, johon sain puolestaan moottorin tapin upotettua. Seuraavaksi täytyi minun vielä tehdä molempien päiden sivuihin keskireikään saakka uppoavat reiät, joihin lopuksi tein vielä kierteet ja ruuvasin pienet ruuvit. Näin sain ruuveja kiristämällä kiinnitettyä moottorin tapin ja pääruuvien tukevasti liittimeen, niin että kumpikin pyörii samaa tahtia.

### 6.3 Mutteriosa

Tarttujan auki- ja kiinni-liikkeen kannalta tärkein osa on pääruuvia kiertävä äksän muotoinen mutteriosa. Suunnittelin osasta äksän muotoisen, koska tarkoituksena on saada äksän jokaisesta neljästä haarasta erillinen kiinnitys tarttujan jokaiseen neljään raajaan. Tällöin mutteriosan liike siis välittyy suoraan tarttujan raajoihin. Osaa tehdessä käytin materiaalina alumiinia, koska sitä on helppo työstää ja halusin saada siitä myös mahdollisimman kevyen ja kestävä. Mutteriosan keskelle tein 6mm:n kierrereiän, jossa on samankokoinen kierre kuin pääruuvissa. Osan jokaiseen neljään haaraan tein myös pienet reiät, joihin pystyin kiinnittämään muttereilla 1mm:n alumiinilevystä tehdyt lyhyet yhdyslevyt, joiden molempiin päihin porasin myös reiät. Yhdyslevyjen toinen pää tulee kiinni tarttujan raajoihin. Tämän seurauksena mutteriosan horisontaalinen liike, joka saadaan aikaan pääruuvia moottorin avulla pyörittämällä, vaikuttaa vertikaalisesti tarttujan raajojen liikkeeseen. Toisin sanoen kun mutteriosa liikkuu ylöspäin, menee tarttuja kiinni ja kun mutteriosa liikkuu alaspäin, tarttuja aukeaa. Myöhemmin tein mutteriosan vielä uudestaan teräksestä, koska huomasin, että alumiinisen osan kierteet eivät kestäneet kovin hyvin. Tästä aiheutui tarttujan auki- ja kiinni-liikkeessä nykimistä. Uusi teräksinen osa oli huomattavasti kestävämpi ratkaisu, joka samalla korjasi myös nykivän liikkeen sulavaksi liikkeeksi. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 10 on kuvattu moottori, liitin, mutteriosa sekä yhdyslevyt, jotka kiinnittyvät tarttujan raajoihin.



Kuva 10. Moottori, liitin, mutteriosa ja yhdyslevyt

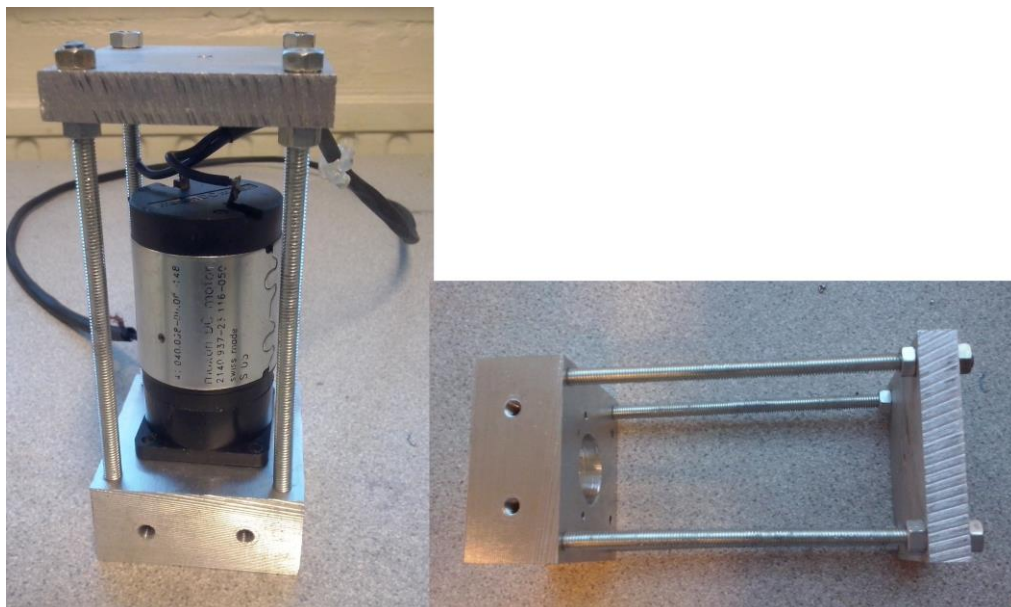
#### 6.4 Runkopalikka

Moottorin kiinnitin 60 mm x 60 mm kokoiseen alumiinipalikkaan, joka on 25 mm korkea ja jonka keskellä on 20 mm halkaisijaltaan oleva reikä. Reikä on mitoitettu tarkoituksella reilun kokoiseksi, jotta moottorin ja pääruuvien välinen liitinosa mahtuu helposti sen sisään. Alumiini oli selkeä valinta materiaaliksi, koska kappale on niin iso, että raudasta valmistettaessa siitä olisi tullut aivan liian painava ja raskas. Valitsin alumiinin materiaaliksi myös sen helpon työstettävyyden takia, koska kappaleeseen täytyi tehdä suuri määrä erikokoisia reikiä ja kierteitä. Syy minä takia tein kappaleesta niinkin paksun, on se, että halusin saada moottorin ja pääruuvien välissä olevan liitinosan piiloon kappaleen sisään. Näin sain aikaan siistin ja yksinkertaisen ulkonäön. Lisäksi kappaleen paksuun mahdollisti tarttujan raajojen kiinnittämisen suoraan sen kylkeen kiinni.

#### 6.5 Kehikko

Moottorin ympärille suunnittelin yksinkertaisen kehikon rautaisia kierretankoja käyttämällä. Päälle sahasin 10 mm:n alumiiniprofiilista 60 mm x 60 mm:n kokoisen neliön muotoisen kappaleen, jonka reinoihin poraamiini reikiin sain kierretankojen yläpäät kiinnitettyä. Kehikko suojaa moottoria tiettyyn asteeseen saakka isoimmilta kolhuilta ja sen tukeva rakenne mahdollistaa koko tarttujan

helpon ja vaivattoman käsittelyn. Sen simppele ulkonäkö tukee samaa teemaa, jolla tarttujan kaikki muutkin osat ovat suunniteltu ja valmistettu. Alla olevassa kuvassa 11 on kuvattu runkopalikka ja kehikko moottorin kanssa ja ilman.

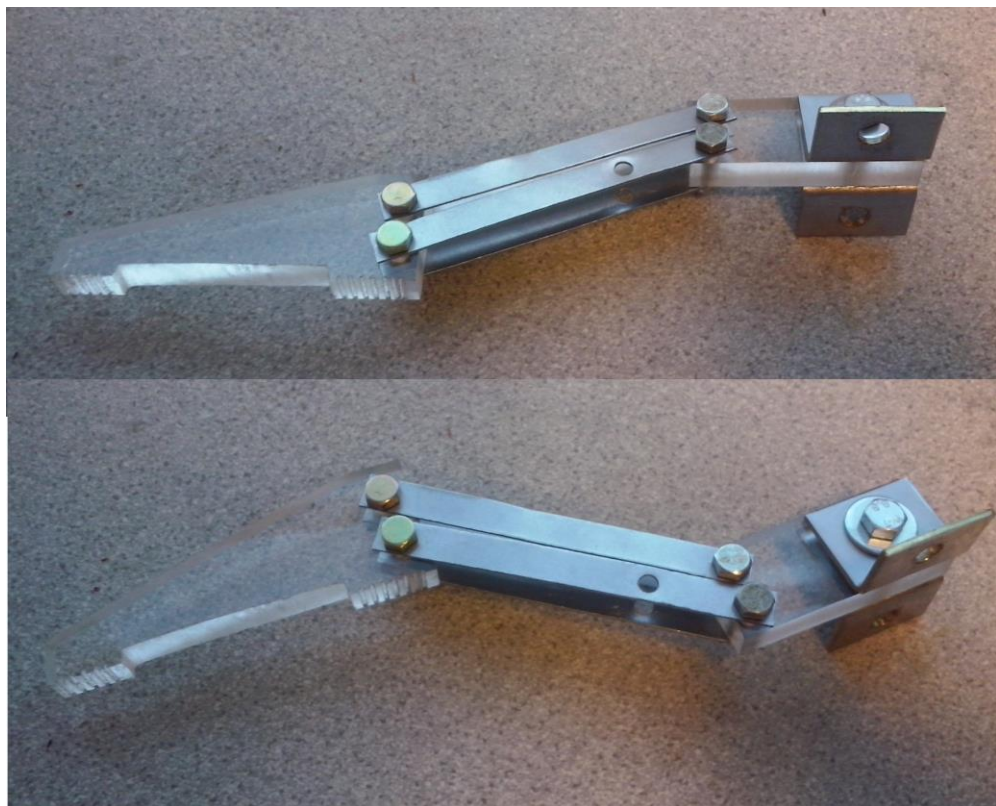


Kuva 11. Runkopalikka, kehikko ja moottori vasemmalla sekä sama rakennelma ilman moottoria oikealla

## 6.6 Raajat

Tarttujan raajojen valmistuksessa käytin materiaalina eripaksuisia alumiinilevyjä sekä 8 mm:n paksuista akryylilevyä. Akryylilevyn valitsin materiaaliksi tarttujan varsinaiseen tarttujapäähän sekä kiinnityskohtaan, koska se on kevyt ja helposti muovattavissa. Lisäksi se on myös tarpeeksi vahva materiaali kyseiseen käyttötarkoitukseen. Tarttujapään muovasin akryylilevystä rautasahaa sekä viilaa käyttämällä. Sahasin levystä suorakulmion muotoisia kappaleita, joiden toiselle puolelle tein viiston paremman käytettävyyden sekä siistimmän ulkonäön takia. Kappaleen toiselle puolelle viilasin keskelle kolme millia syvän pitkulaian kolon, jonka tarkoituksena on parantaa tartunta pallomaisiin sekä viistomaisiin objekteihin. Kolon molemmille puolille jäi pienet korokkeet, jotka toimivat tarttujan pääasiallisina tarttujakohtina. Korokkeisiin sahasin rautasahalla vielä kevyesti pieniä uria, joiden tarkoisena on parantaa tartuttavuutta. Toinen vaihtoehto olisi ollut päällystää tarttujakohdat pehmeällä muovilla, mutta luovuin

siitä ajatuksesta, koska halusin saada tarttujalle siistimmän ulkonäön. Kiinnityskohtaan sahasin myös suorakulmion muotoisen palikan akryylilevystä, jonka molemmille puolille sain 1,5mm:n alumiinilevystä katkaistut ja väännetyt kulmapalat kiinnitettyä. Lisäksi porasin vielä pienet reiät tarttujapään yläpäähän sekä kiinnityspalan alapäähän, joihin pystyin kiinnittämään 1mm:n alumiinilevystä tehdyt pitkulaiset levyt, jotka muodostavat kaksi vartta tarttujapään ja kiinnityspalan välille. Levyt on kiinnitetty löysästi, jotta osat pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden. Kaksi levyä on kiinnitetty vastakkain ja niiden viereen on kiinnitetty toinen pari levyjä samalla tavalla. Syy, minkä takia levyistä muodostuvia varsia on kaksi vierekkäin, on se, että tällä tavoin tarttujapää pysyy jatkuvasti pystyasennossa riippumatta siitä onko tarttuja auki- vai kiinniasennossa. Tämä ominaisuus mahdollistaa sen, että tartuntakulma on aina sama tartuttavan objektiivin koosta riippumatta. Sisemmän varren levyihin porasin vielä reiät, joihin pääruuvia kiertävässä mutteriosassa kiinni olevat yhdyslevyt on mahdollista kiinnittää. Alla olevassa kuvassa 12 on kuvattu yhden raajan rakenne ja liikerata.

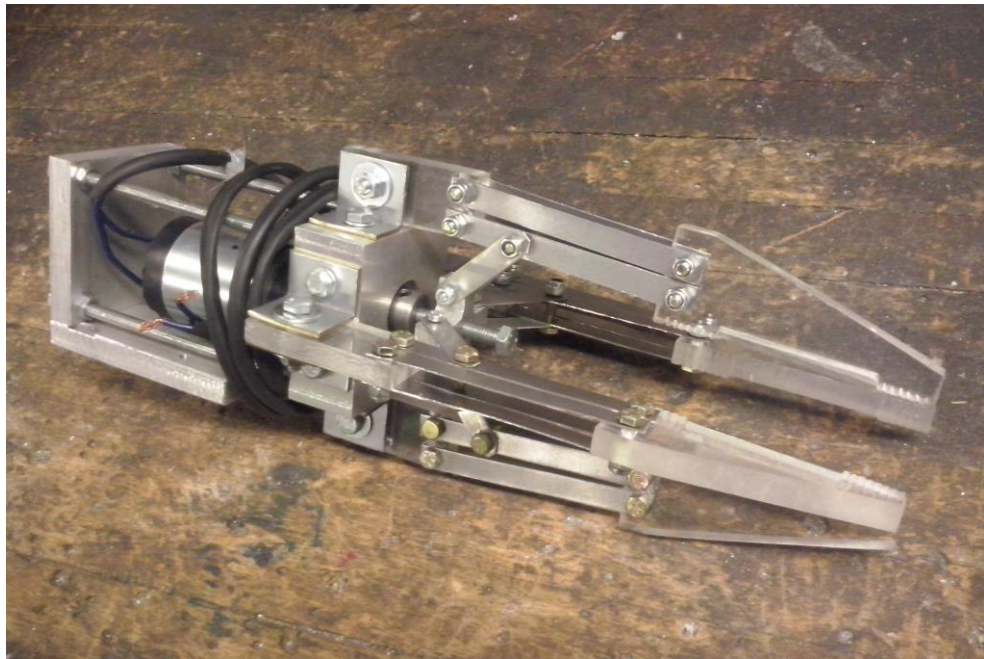


Kuva 12. Tarttujan raaja kahdessa eri asennossa



## 6.7 Ensitestit

Lokakuun 29. päivä järjestimme ensitestin tarttujan prototyypille. Tässä vaiheessa olin jo saanut tarttujan mekaniikan valmiiksi. Tarkoituksena oli kokeilla, miten moottori pyörittää ruuvia ja miten mutteriosan liike vaikuttaa tarttujapäihin. Lisäksi tarkoituksena oli ottaa selvää, millaisilla jännitteillä ja virroilla prototyyppi toimii. Testissä totesimme, että tarttujapäiden liike oli sulava ja yhdenaikainen. Tarttujan mekaniikka toimi juuri, niin kuin oli tarkoituskin. Saimme aikaan rauhallisen liikkeen 7-8 voltin jännitteellä, joka on siis kolmasosa moottorin maksimijännitteestä. Virran määrä oli erittäin pieni, vain 0,1 ampeeria. Tämä johtuu siitä, että moottorin sisään on rakennettu tiuha planeettavaihe. Pienen virran takia moottorin momentti jää tartuntavaiheessa heikoksi. Liitteet-osiossa on linkki, josta pääsee katsomaan ensitestissä kuvatun videon. Alla olevassa kuvassa 13 on kuvattu, miltä tarttuja näytti ensitestin aikaan.



Kuva 13. Tarttujan ulkonäkö ensitestin aikaan



### 6.7.1 Uusi moottori ja taipuva akseli

Ensitestin jälkeen totesimme, että moottori tulee vaihtaa, koska se käyttää liian vähän virtaa. Ideana oli, että tarttujan puristusvoimaa voitaisiin säädellä virran avulla, jota puolestaan voidaan säätää tasavirta-säätimen avulla. Koska vanha moottori käytti niin vähän virtaa, ei kyseistä säätöä pystynyt toteuttamaan. Päädyin valitsemaan uudeksi moottoriksi SWF VALEO NIDEC 24 VDC-vaihdemoottoriin, jonka minimikierrosnopeus on 50 rpm, ominaisvääntö 3,5 Nm ja tyyppi SWMK. Kyseinen moottori oli tuttu ensimmäisen vuoden kouluprojektista, jossa rakensimme paletille kuutioita pakkaavan manipulaattorin.

Uusi moottori oli niin paljon edeltäjänsä suurempi, että sitä ei saanut mitenkään järkevästi kiinnitettyä suoraan tarttujaan kiinni. Tästä syystä hankin taipuisan akselin, jonka asensin moottorin ja tarttujan väliin. Ostin taipuisan akselin Motonetistä, jossa sitä myytiin joustava porausvaijeri-nimikkeellä. Tällä tavalla moottori oli mahdollista kiinnittää noin puolen metrin päähän tarttujasta niin, että tarttuja pystyi liikkumaan x-, y- ja z-suuntiin moottorin pysyessä tiukasti paikallaan. Lisäksi tarttujasta tuli kevyempi ilman moottorin painoa. Alla olevassa kuvassa 14 on kuvattu uusi moottori, jossa on kiinni lopputestiä varten rakentamani kiinnitysmekanismi sekä taipuisan akselin kiinnitystä varten tekemäni liitinpala. Moottorin oikealla puolella on kuvattu taipuisaa akselia.

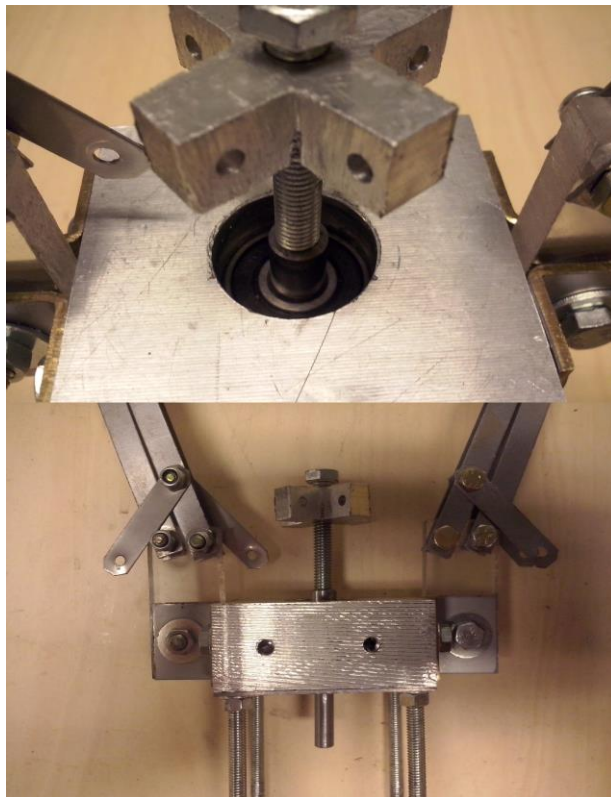


Kuva 14. SWF VALEO NIDEC 24 VDC- moottori kiinnitysmekanismineen sekä taipuisa akseli

### 6.7.2 Kierretanko-tappi-yhdistelmä ja laakerointi

Taipuisan akselin lisäämisen takia jouduin suunnittelemaan ja sorvaamaan uuden tapin, jonka toinen pää tulee kiinni pääruuviin ja jonka toiseen päähän voidaan uusi taipuisa akseli kiinnittää. Leikkasin 8 mm:n teräs-sauvasta 50 mm:n pätkän, jonka toiseen päähän tein pääruuvia varten 6 mm:n kierrereian ja toisen pään kavensin 6 mm:iin 25 mm:n matkalta, jotta sain kiinnitettyä siihen taipuisan akselin istukkapään. Käytin 8 mm:ä paksua sauvaa, koska löytämieni pienien laakereiden sisähalkaisija oli saman kokoinen.

Runkopalikkaan täytyi tehdä myös melko suuria muutoksia. Suurensin keskellä olevaa reikää 22 mm:iin, jotta sain asennettua sinne kaksi valitsemaani laakeria. Laakereiden kiinnitys tapahtui siihen tarkoitetun liiman avulla. Laakerit mahdollistivat uuden kierretanko-tappi-yhdistelmän kiinnittämisen runkopalikkaan kiinni niin, että pyörimisliike on välyksetöntä ja suoraa. Alla olevassa kuvassa 15 on kuvattu kierretanko-tappi-yhdistelmän ja runkopalikan laakeroinnin kokoonpanoa kahdesta eri kuvakulmasta.



Kuva 15. Kierretanko-tappi-yhdistelmän ja runkopalikan laakeroinnin kokoonpano

### 6.7.3 Suojalevy

Runkopalikan päälle rakensin ja kiinnitin ohuen alumiinilevyn, jonka keskelle porasin 6mm:n reiän, josta kierretanko-tappi-yhdistelmän istukkaan kiinni tuleva tappi tulee läpi. Levyn reunoihin porasin myös reiät, jotka mahdollistavan kiinnityksen kehikon rakenteessa käytettyihin kierretankoihin. Levyn tarkoitus on estää kierretanko-tappi-yhdistelmän horisontaalinen liike, jota varsinkin tarttujan puristusvaiheessa voi ilmetä.

### 6.7.4 Muut muutokset

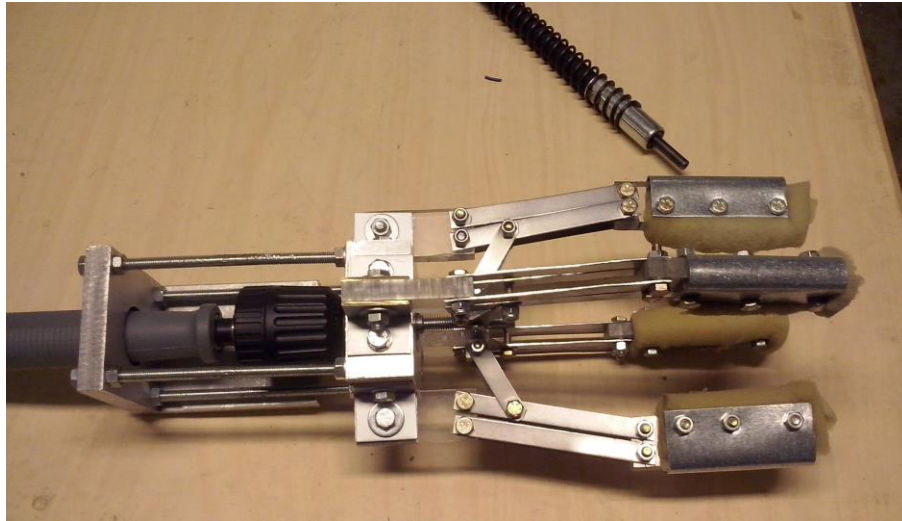
Taipuisan akselin asennuksen jälkeen en tarvinnut enää rakentamaani liitintä, mutta pieniä muokkauksia tekemällä sain siitä uudenlaisen liittimen, jonka avulla pystyin kiinnittämään uuden moottorin taipuisan akselin päähän. Suurensin toisen pään reikää 10 mm:iin, johon sain uuden moottorin tapin kiinnitettyä. Toisen pään 6mm:n reikään ei tarvinnut muutoksia tehdä, koska taipuisan akselin tappi oli juuri oikean kokoinen mahtuakseen siihen.

Myös kehikkoon täytyi tehdä muutoksia, jotta sain asennettua taipuisan akselin sen sisään. Minun täytyi tehdä 60 mm x 60 mm alumiini-profiilin keskelle 20 mm:n kokoinen reikä, jonka sisään akselin istukkapää mahtui. Kehikon uusi tarkoitus oli vain tukea akselin istukkapäätä niin, että se pysyy tukevasti paikoillaan, eivätkä mahdolliset ulkopuoliset voimat aiheuta rasitusta istukassa kiinni olevaan uuteen kierretanko-tappi-yhdistelmään.

Tein vielä myöhemmin toisen erän tarttujapäitä, jotka päälystin pehmeällä vaahtomuovimateriaalilla. Niiden tarkoitus on mahdollistaa tartunta helposti särkyviin, naarmuuntuviin tai taipuviin kappaleisiin ja materiaaleihin.

Tarttujapäiden rungon tein taas 8mm:n akryylilevystä, josta sahasin 80 mm x 20 mm:n kokoisia suorakulmioita. Suorakulmioiden tartuntapuolen päälle taivutin vaahtomuovista leikatut ohuet suikaleet, jotka kiinnitin kolmella ruuvilla suorakulmion kylkeen kiinni. Jotta sain tarttujäpäistä siistimmän näköiset, taivutin alumiinilevystä suojalevyt tartuntapuolen toiselle puolelle, joiden peittoon kaikki ylimääräinen vaahtomuovi jäi. Alumiinilevyt kiinnitin samoilla ruuveilla kuin vaahtomuovin. Lopuksi tein vielä jokaiseen tarttupäähän kaksi reikää, jotka

mahdollistavat kiinnityksen tarttujan varteen. Alla olevassa kuvassa 16 on kuvattu pehmeät tarttujapäät sekä aikaisemmin mainitun kehikon uusi rakenne niin, että taipuisa akseli on kiinnitetty tarttujaan.



Kuva 16. Tarttuja pehmeillä tarttujapäillä varustettuna ilman moottoria

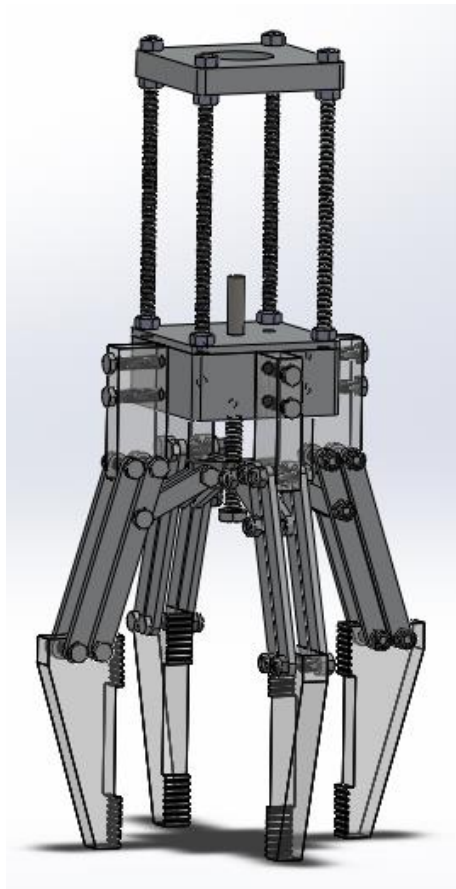
## 6.8 Lopputesti

Tammikuun 22.päivä järjestimme lopputestin tarttujan valmiille prototyypille. Tarkoituksena oli tarkastella, miten tarttuja kykenee nostamaan eripainoisia teräksisiä sylintereitä. Testiä varten olin tehnyt viisi eripainoista teräksistä sylinteriä, joiden painot olivat 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg, 2 kg ja 3 kg. Testissä käytin rakentamiani kovia tarttujapäitä, koska niiden ja teräksen välinen kitka on pienempi kuin pehmeitä tarttujapäitä käytettäessä. Pienemmän kitkan ansiosta oli mahdollista tarkastella tarttujan maksimaalista puristusvoimaa. Testiä varten rakensin myös moottorille kiinnitysmekanismin, jonka avulla moottori oli mahdollista kiinnittää pöydän reunaan kiinni. Kyseinen kiinnitysmekanismi on esitetty kuvassa 14 vasemmalla puolella. Lisäksi valmistin moottorin ja virtalähteen välille väliin kytkentärasian. Rasian sisälle kytkin tasavirtasäätimen, jonka avulla pystyin helposti painonappeja käyttämällä ohjaamaan tarttujaa kiinni- ja auki-asentoon testin aikana.

Lopputesti onnistui hyvin. Tarttuja kykeni helposti nostamaan kaikki muut paitsi 3kg:n sylinterin. Tarttujan ohjaus kytkentärasian avulla toimi moitteettomasti sekä moottorin kiinnitys pöydän kulmaan oli tukeva. Lopputestissä kuvatun videon pääsee näkemään linkistä, joka löytyy Liitteet-osiosta.

## 7 TYÖPIIRRUSTUKSET

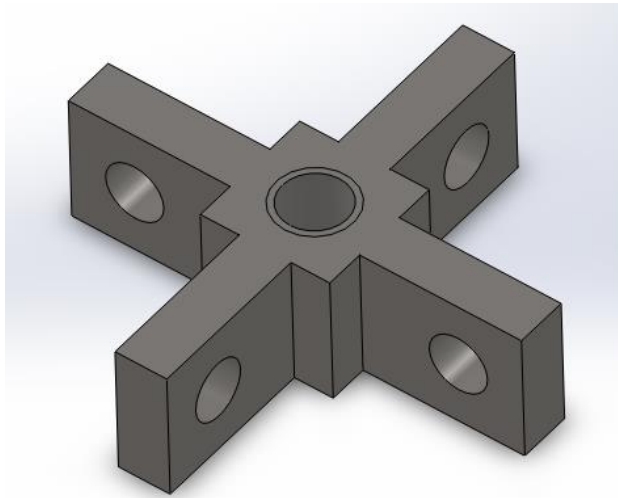
Kun olin saanut tarttujan prototyypin valmiiksi, tein lopuksi valmiit työpiirrustukset kaikista tarttujan osista. Kyseisien työpiirrustusten avulla tarttujan osat voidaan myöhemmin valmistaa CNC- koneella. Näin saadaan aikaan varsinainen pakkaussovelluksessa käytettävä tarttuja, joka on viimeisen päälle huoliteltu sekä millimetrin tarkasti valmistettu. Lisäksi tein myös kokoonpanopiirrustuksen, jonka avulla tarttuja voidaan koota CNC-koneella valmistetuista osista. Jotta työpiirrustukset oli mahdollista tehdä, täytyi minun ensin luoda 3d-mallit kaikista tarttujan osista. Kokoonpanopiirrustusta varten liitin kaikki luomani osat yhteen sekä lisäsin tarvittavat ruuvit, mutterit sekä laakerit, jotta sain aikaan täydellisen 3d-mallin tarttujasta. Kyseisten 3d-mallien, työpiirrustusten sekä kokoonpanopiirrustuksen luomisessa käytin 3d-suunnitteluun tarkoitettua SolidWorks-ohjelmistoa. Alla olevassa kuvassa 17 on kuvattu tarttujan kokoonpanopiirrustusta varten tekemääni osien kokoonpanon 3d-mallia.



Kuva 17. SolidWorks- malli tarttujasta

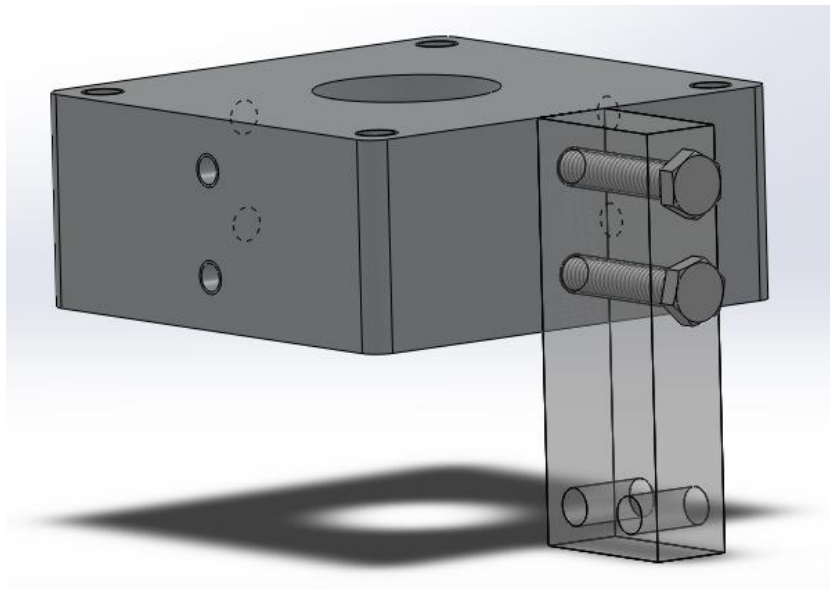
Työpiirrustuksia tehtäessäni tein joitakin muutoksia tarttujan osien geometriaan sekä rakenteeseen. Osa muutoksista oli pelkkää kehitystyötä, jonka avulla halusin saada tarttujan rakenteesta yksinkertaisemman ja käytännöllisemmän, mutta osa muutoksista oli pakollisia johtuen teollisuudessa käytetyistä standardeista.

Tarttujan prototyypissä käytetyt yhdyslevyt sekä varsilevyt oli valmistettu 1 mm:n paksuisesta alumiinilevystä. Teollisuudessa käytettävä minimipaksuus on kuitenkin 3mm. Tästä syystä muutin kyseisien yhdylevyjen sekä varsilevyjen paksuuden työpiirrustuksiin 3mm:iin. Kyseisestä muutoksesta seurasi kuitenkin se, että myös pääruuvissa kiinni olevan mutteriosan geometriaa tuli muuttaa, jotta yhdyslevyjen kiinnittäminen siihen olisi mahdollista. Lisäksi muutin mutteriosan sivuissa olevat reiät sopivaksi M4- kokoisille ruuveille, koska liitoksessa tulee käyttää lukkomuttereita, ja M4-ruuvi on pienin ruuvikoko, johon on saatavilla kyseisiä lukkomuttereita. Alla olevassa kuvassa 18 on kuvattu SolidWorks-ohjelmalla tehty uusi mutteriosa.



Kuva 18. SolidWorks-malli uudesta mutteriosasta

Kehitystyönä päätin muuttaa tarttujan varren kiinnityskappaleen kiinnitystapaa runkopalikkaan. Prototyypissä olin suorittanut kiinnityksen käyttäen kulmapaloja. Tukevamman ja helpomman liitoksen takia muutin kiinnitystapaa niin, että kiinnityskappale liitetään nyt suoraan runkopalikkaan kahdella ruuvilla kiinnityskappaleen kyljessä olevien läpimenevien reikien kautta. Näin saadaan myös eliminoitu prototyypissä esiintynyt pienoinen sivuttaissuuntainen heilumisliike. Alla olevassa kuvassa 19 on kuvattu SolidWorks-ohjelmalla tehtyä uutta kiinnityskappaletta sekä uutta kiinnitystapaa runkopalikkaan.



Kuva 19. SolidWorks-malli uudesta kiinnityskappaleesta sekä sen kiinnitystavasta



## 8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä erilaisiin tarttujaratkaisuihin ja niiden soveltuvuuteen erilaisissa työtehtävissä. Tarkoituksena oli soveltaa oppimaani tietoa ja suunnitella pakkaussovellukseen sopiva monipuolinen ja innovatiivinen tarttuja. Tarttujasta tuli rakentaa toimiva prototyyppi ja luoda työ- ja kokoonpanopiirrustukset, jotta lopullinen pakkaussovelluksissa käytettävä malli olisi mahdollista valmistaa myöhemmin CNC-koneen avulla. Lisäksi tarkoituksena oli laskea tarttujaan kohdistuvat voimat ja rasitukset soveltamalla oppimaani perustietoa kinematiikasta ja lujuuslaskennasta. Kyseisien laskujen tuloksia verrattiin lopputestissä saatuihin havaintoihin ja tehtiin sen perusteella lopulliset johtopäätökset sekä kehityssuunnitelmat.

Varsinainen rakennustyö suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun laboratorio-tiloissa. Työ- ja kokoonpanopiirrustusten luomiseen sekä tarttujan suunnitteluun käytin 3d-suunnitteluun tarkoitettua SolidWorks-ohjelmistoa.

Työ onnistui kaikinpuolin hyvin. Kinematiikka- ja lujuuslaskut-osiossa olin laskenut, että tarttuja pystyy turvallisesti nostamaan 1kg:n painoisen teräksisen kappaleen. Lopputestissä havaittiin kuitenkin, että jopa 2kg:n painoinen teräksinen kappale on mahdollista nostaa. Työpiirrustuksiin muutin tarttujan yhdyslevyt sekä varsilevyt 3mm:n paksuisiksi, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että tarttuja kykenee nostamaan turvallisesti kolme kertaa painavamman kappaleen. Laskelmien ja lopputestin jälkeen voidaan päätellä, että valmis CNC-koneella valmistettu tarttuja tulee olemaan siis todella jämäkkä laite, joka pystyy yhtäjaksoisesti käsittelemään 3kg:n painoisia kappaleita sekä kertaluontoisesti jopa 6kg:n painoisia kappaleita.

Mitä parempi kitka saadaan kappaleen ja tarttujapäiden välille, sitä pienempi tarttujaan kohdistuva rasitus on. Tarttujaa on mahdollista kehittää myöhemmin suunnittelemalla uudenlaisia tarttujapäitä, jotka soveltuvat erilaisiin prosesseihin ja kappaleisiin.

## LÄHTEET

Eurokoodi SFS-EN 1993-1-8 Taulukko 3.4

LAMK, Robotiikan opinjakso, robotiikan yleinen osa, luentomateriaali. [Viitattu 2.12.2014 ] Saatavilla:

[http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf\\_tiedostot/robotiikka\\_yleinen.pdf](http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/robotiikka_yleinen.pdf)

Pham D. T., Heginbotham W. B. 1986 Robot Grippers: International Trends in Manu-facturing Technology. Tokio. Springer-Verlag, s.443

Lhote F., Kauffmann J., Andre P., Taillard J. 1984 Robot Components and Systems. London. Kogan Page, s.246

Wolf, A., Steinmann R., Schunk H. 2005 Grippers in Motion : The Fascination of Au-tomated Handling Tasks. Berliini. Springer-Verlag, s.248

Monkman G., Hesse S., Steinmann R., Schunk H., 2004 Robot Grippers. Weinheim. Wiley-VCH, s.452

EOAT Solutions, Active gripping elements [Viitattu 1.12.2014] Saatavilla:

<http://www.eoat-solutions.com/en/end-of-arm-tooling.25/active-gripping-elements.34.html>

Simmatic, Vacuum speeder module- VSM Series [Viitattu 1.12.2014] Saatavilla:

<http://www.simmatic.co.uk/product/vacuum-speeder-module-vsm-series/>

Direct Industry, Festo, Pneumatic gripper HGx [Viitattu 1.12.2014] Saatavilla:

<http://www.directindustry.com/prod/festo/pneumatic-grippers-4735-30245.html>

Festo support community, Torque Calculation [Viitattu 4.11.2014] Saatavilla:

[http://www.festo.com/net/SupportForum/yaf\\_postst65\\_Motor-Sizing-and-Selection-from-First-Principles---Torque-Calculation.aspx](http://www.festo.com/net/SupportForum/yaf_postst65_Motor-Sizing-and-Selection-from-First-Principles---Torque-Calculation.aspx)

FESTO Info 116, Standard grippers HGP/HGD/HGR/HGW, Micro grippers s.4

Parnas D. L., Clements P.C. 1986 A rational design process: How and why to fake it. IEEE Transactions on Software Engineering Vol. SE-12 No. 2. Victoria. IEEE Computer Society, s.7

Esko Valtanen, Tekniikan taulukkokirja 2010, 18.painos s.459-460

Kari Kolehmainen, Teräksen kovuus ja murtolujuus 2013 [Viitattu 4.11.2014]  
Saatavilla: <http://www.karikolehmainen.com/743>

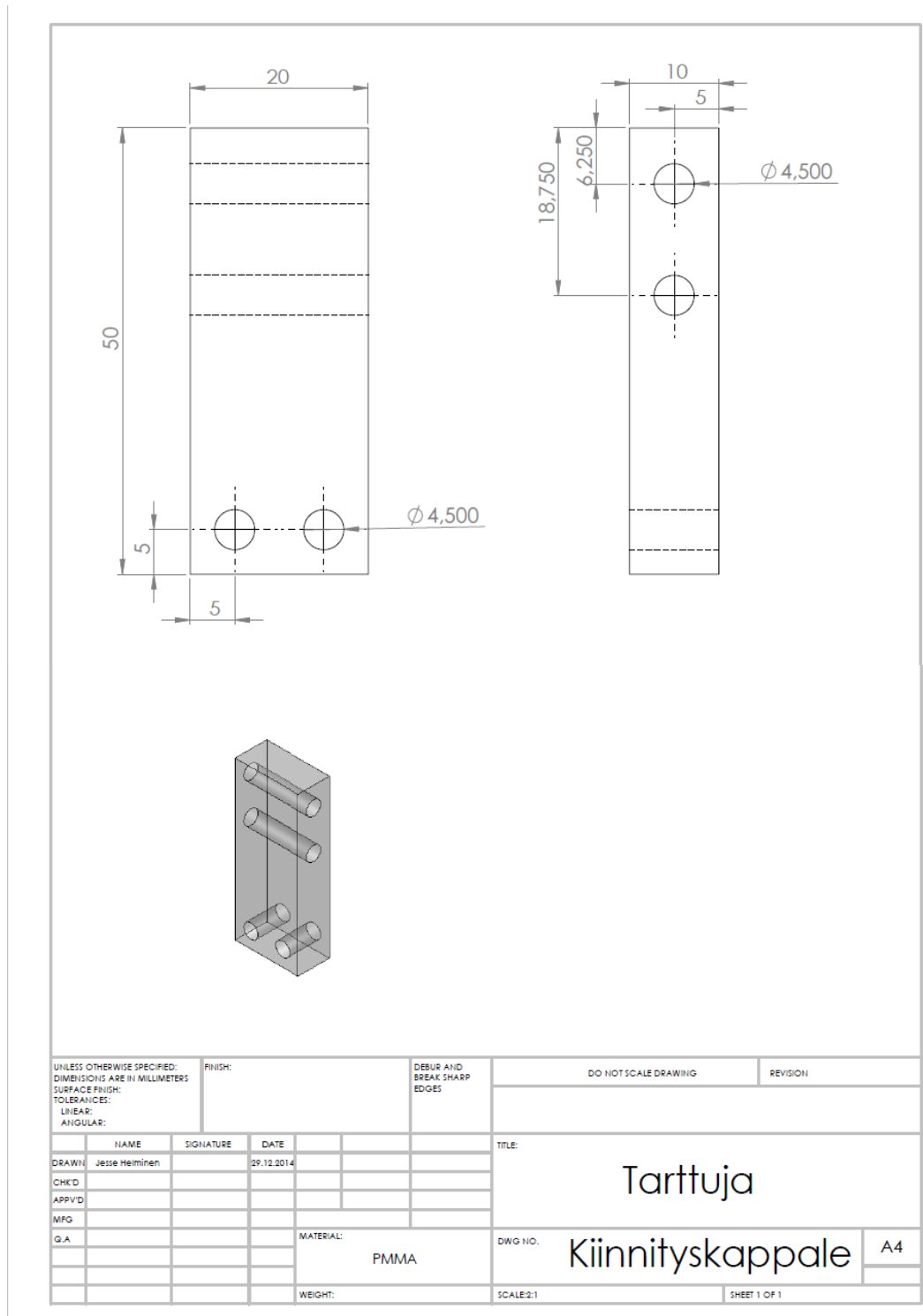
Brown et al 2010 PNAS

Ensitestissä kuvattu video [Viitattu 29.10.2014] Saatavilla:  
<https://www.youtube.com/watch?v=PoZokaxsCrg&feature=youtu.be>

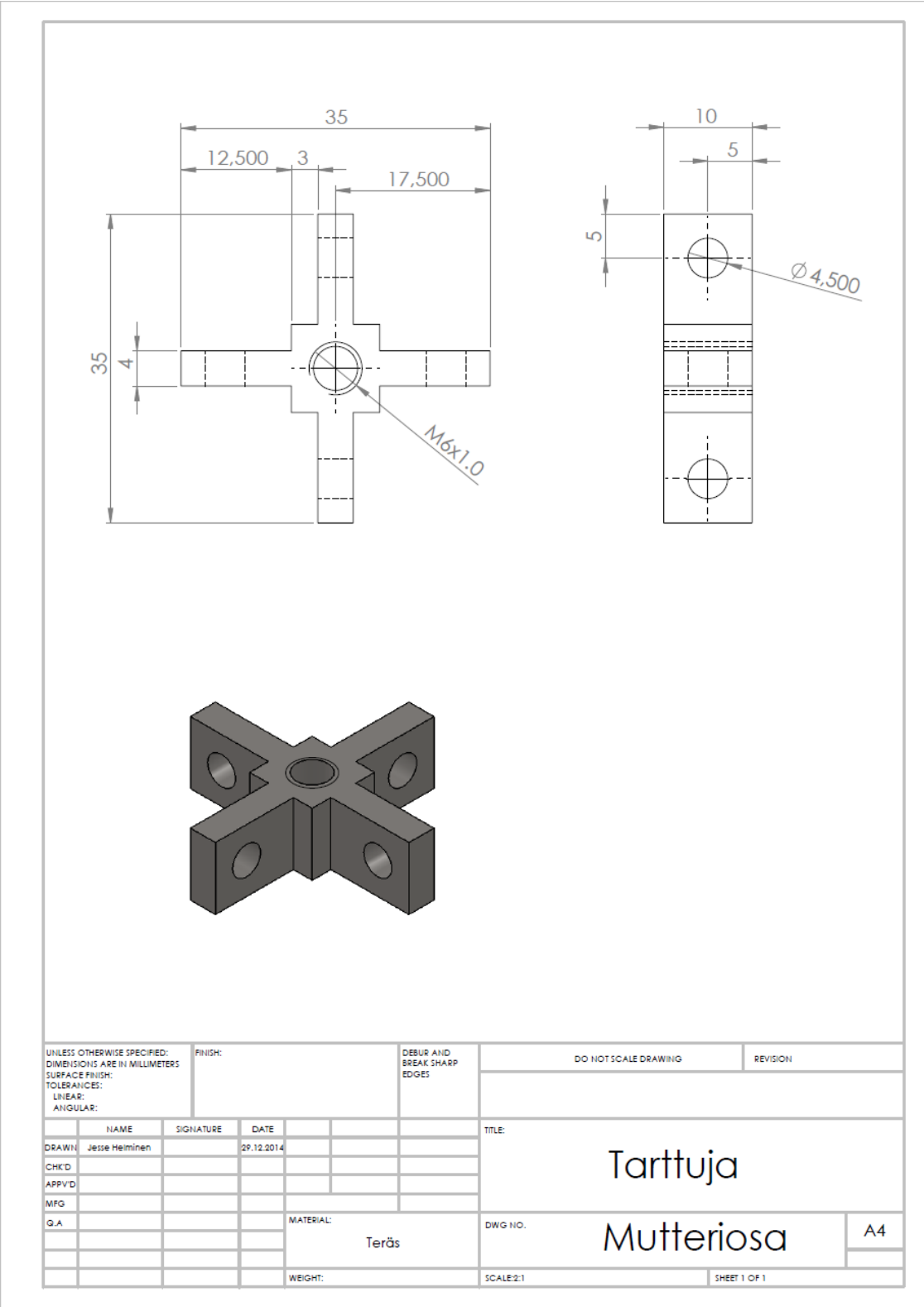
Lopputestissä kuvattu video [Viitattu 22.1.2015] Saatavilla:  
<https://www.youtube.com/watch?v=-Eoc4oh8iVQ&feature=youtu.be>

## LIITTEET

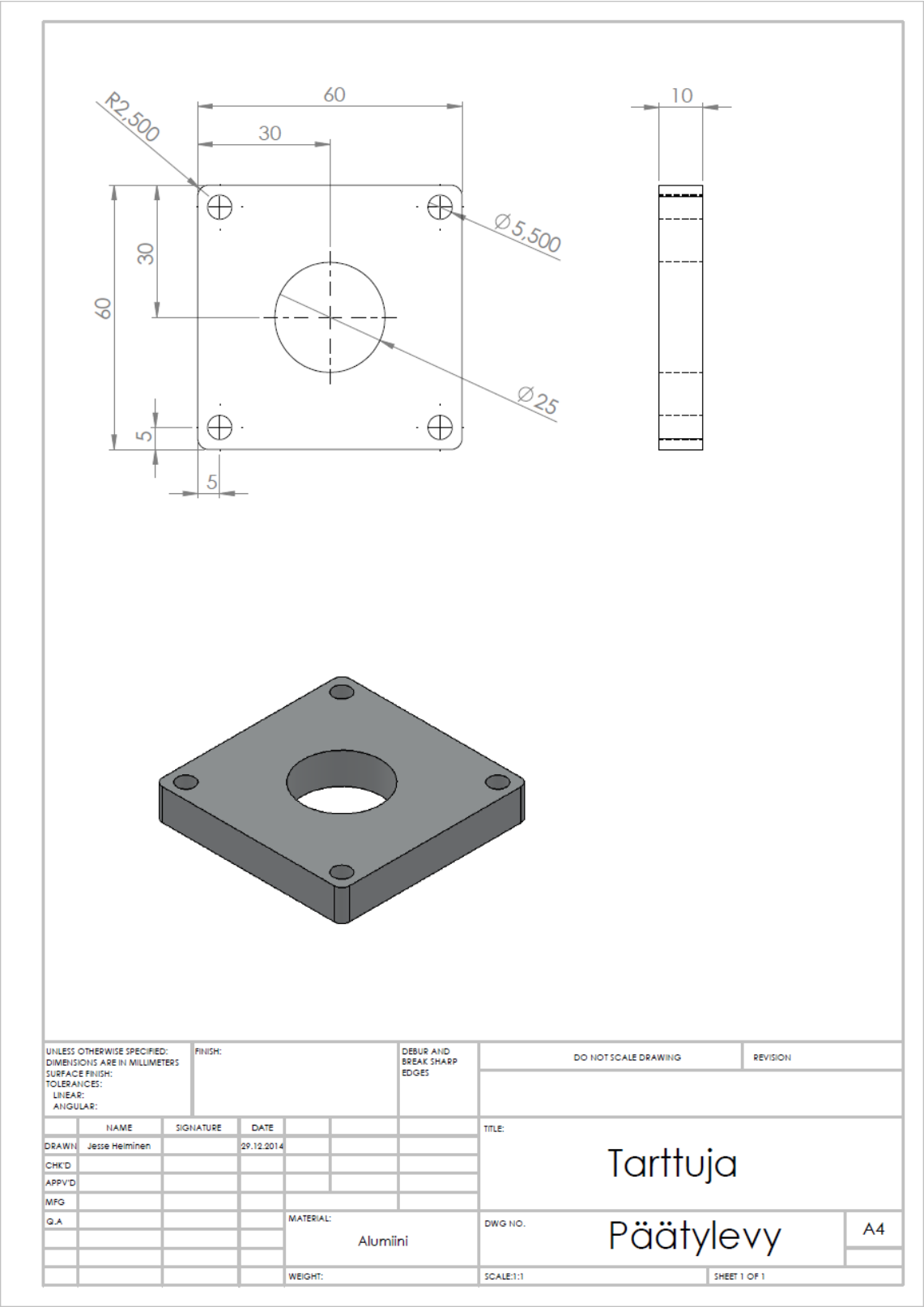
## LIITE 1. Kiinnityskappale



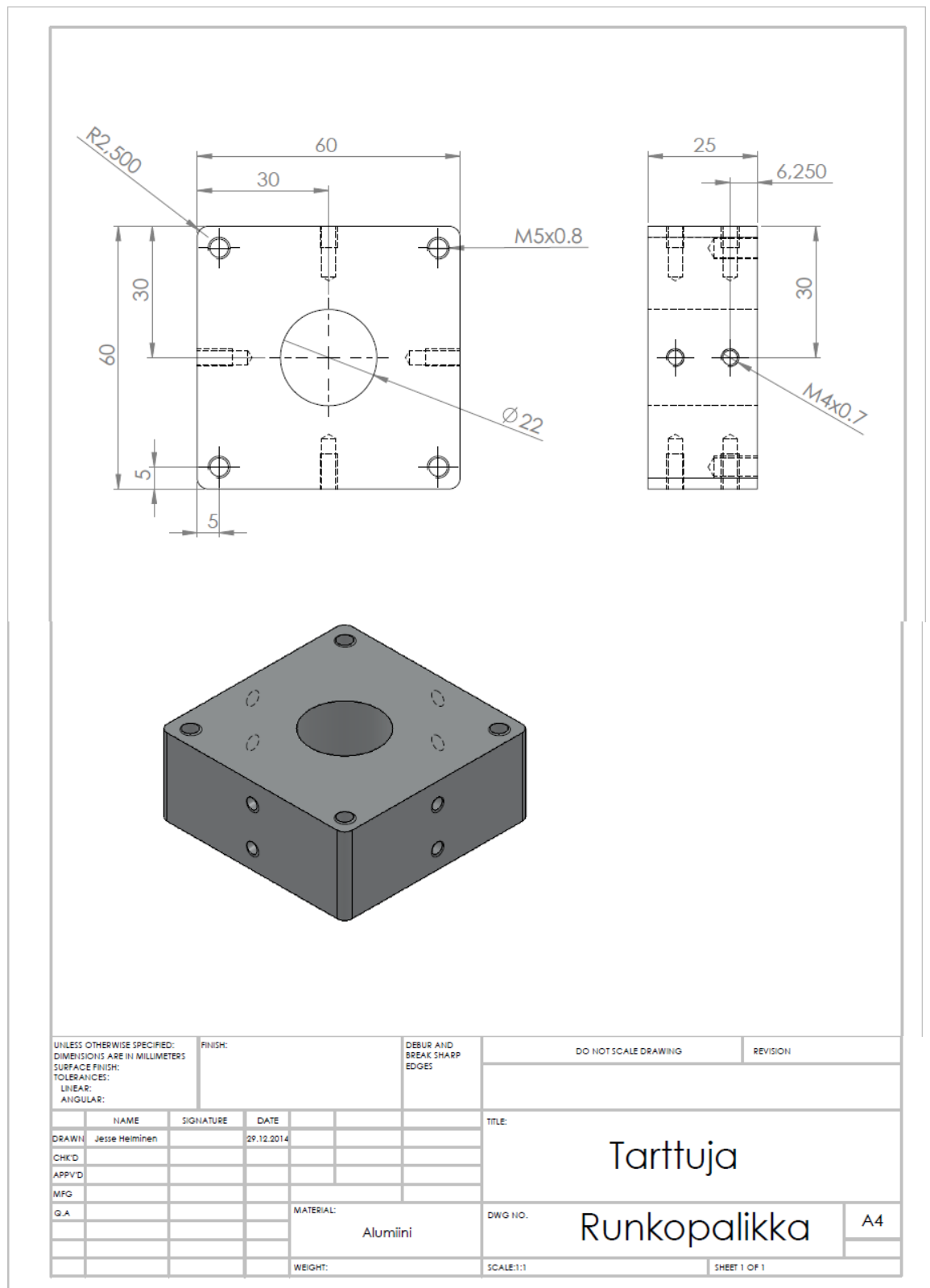
LIITE 2. Mutteriosa



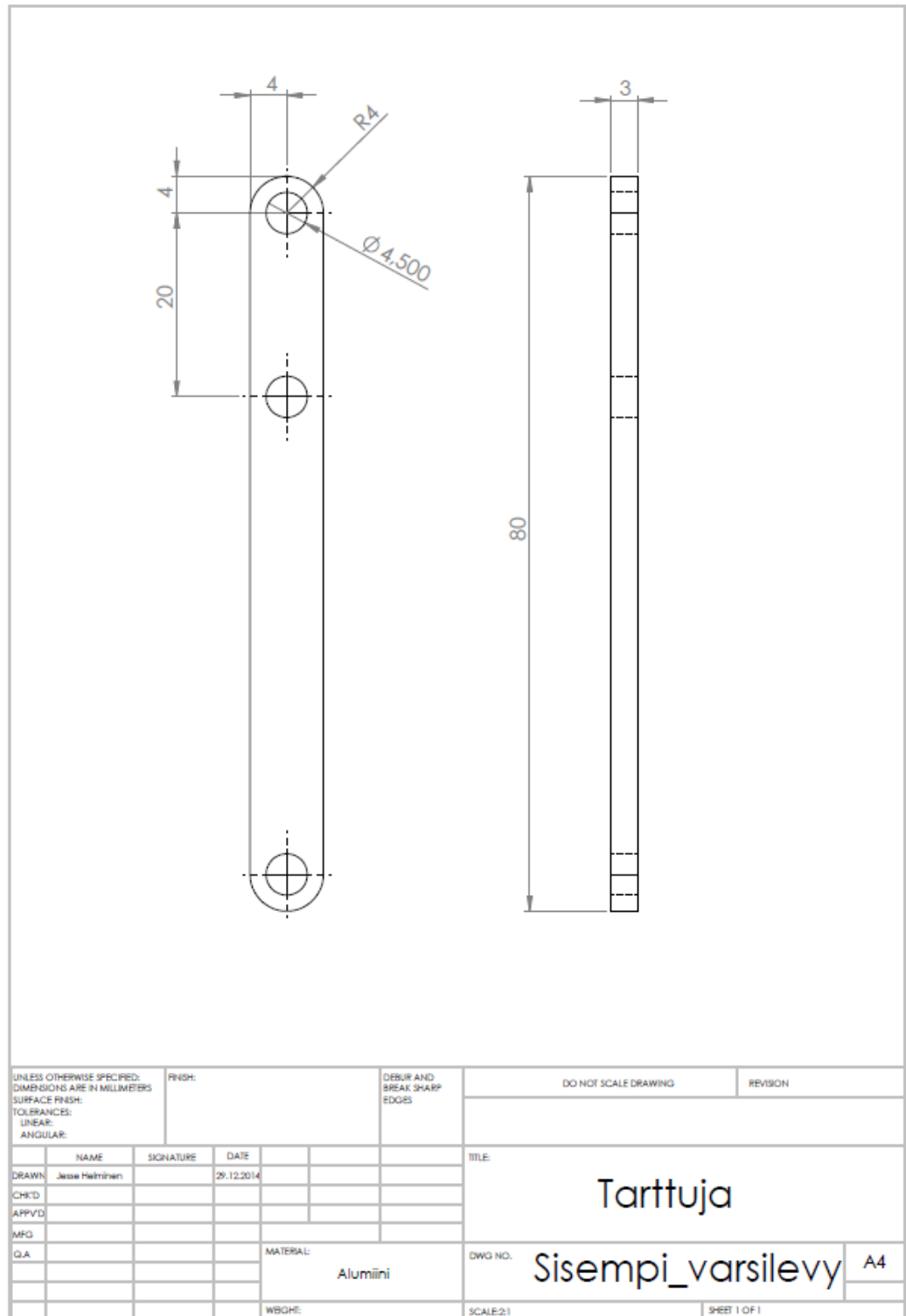
LIITE 3. Päätylevy



## Liite 4. Runkopalikka

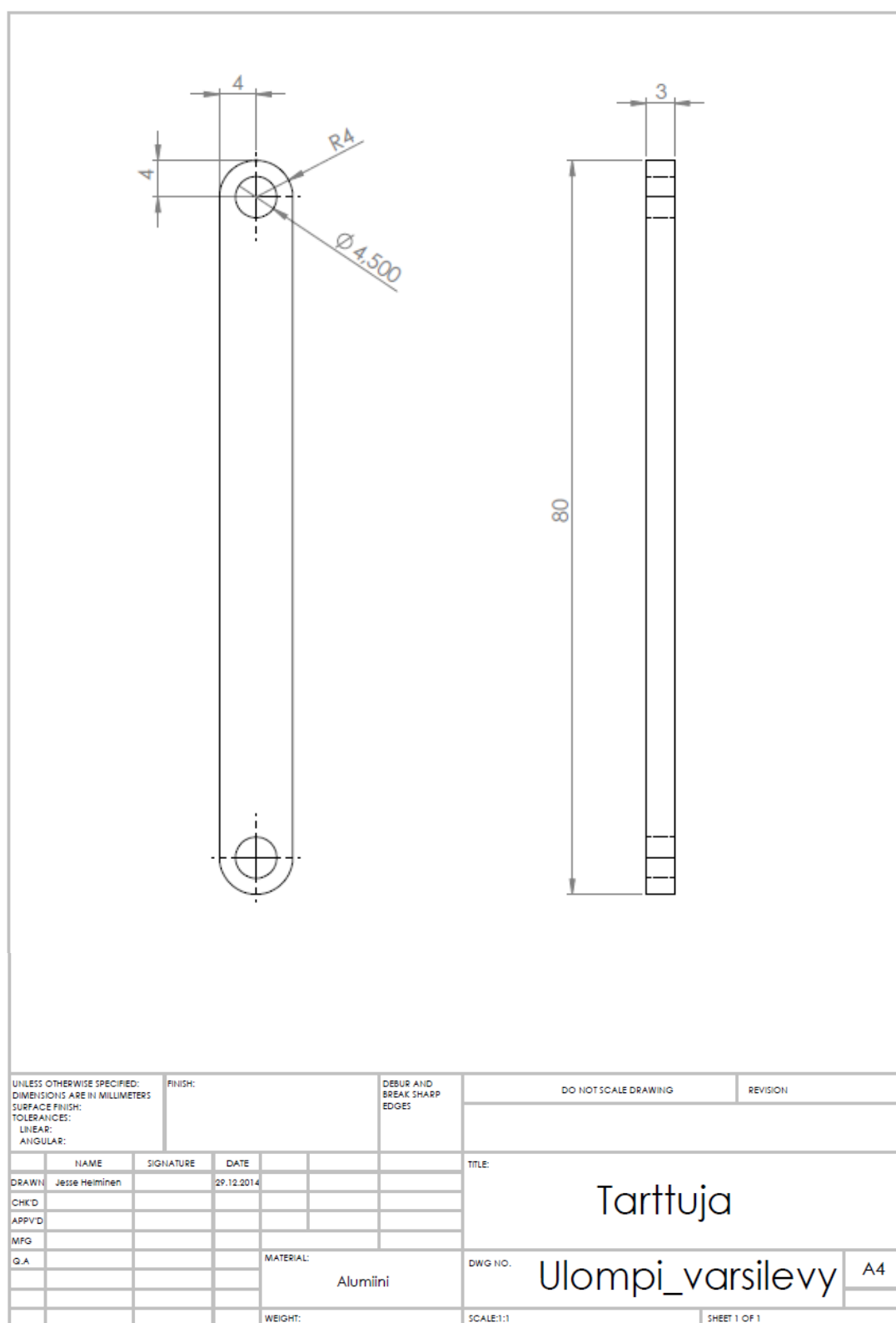


## LIITE 5. Sisempi varsilevy

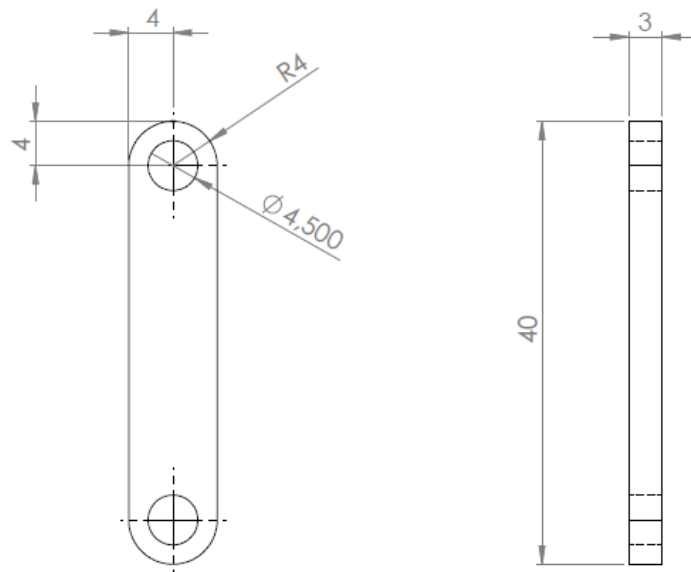




## LIITE 6. Ulompi varsilevy

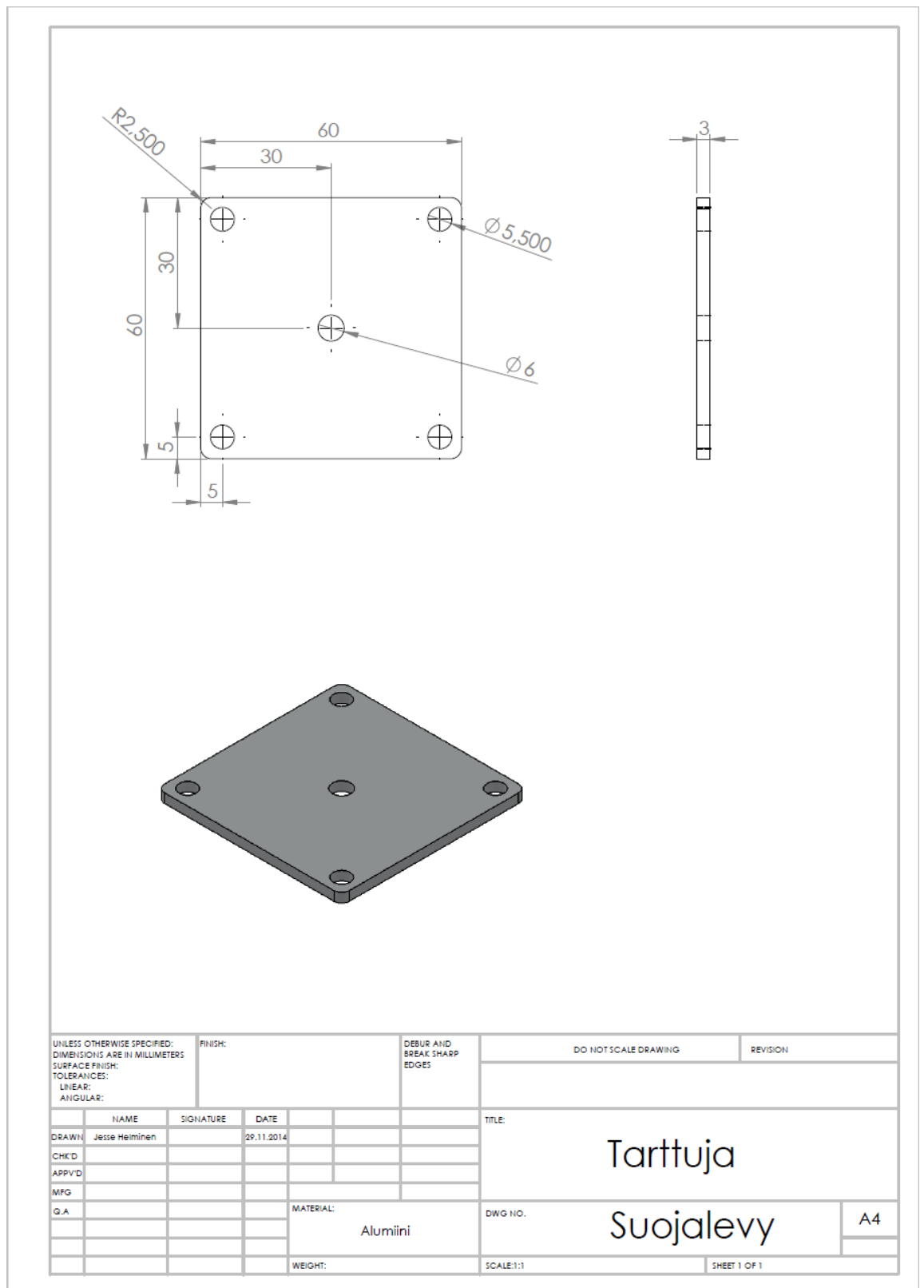


## LIITE 7. Yhdyslevy

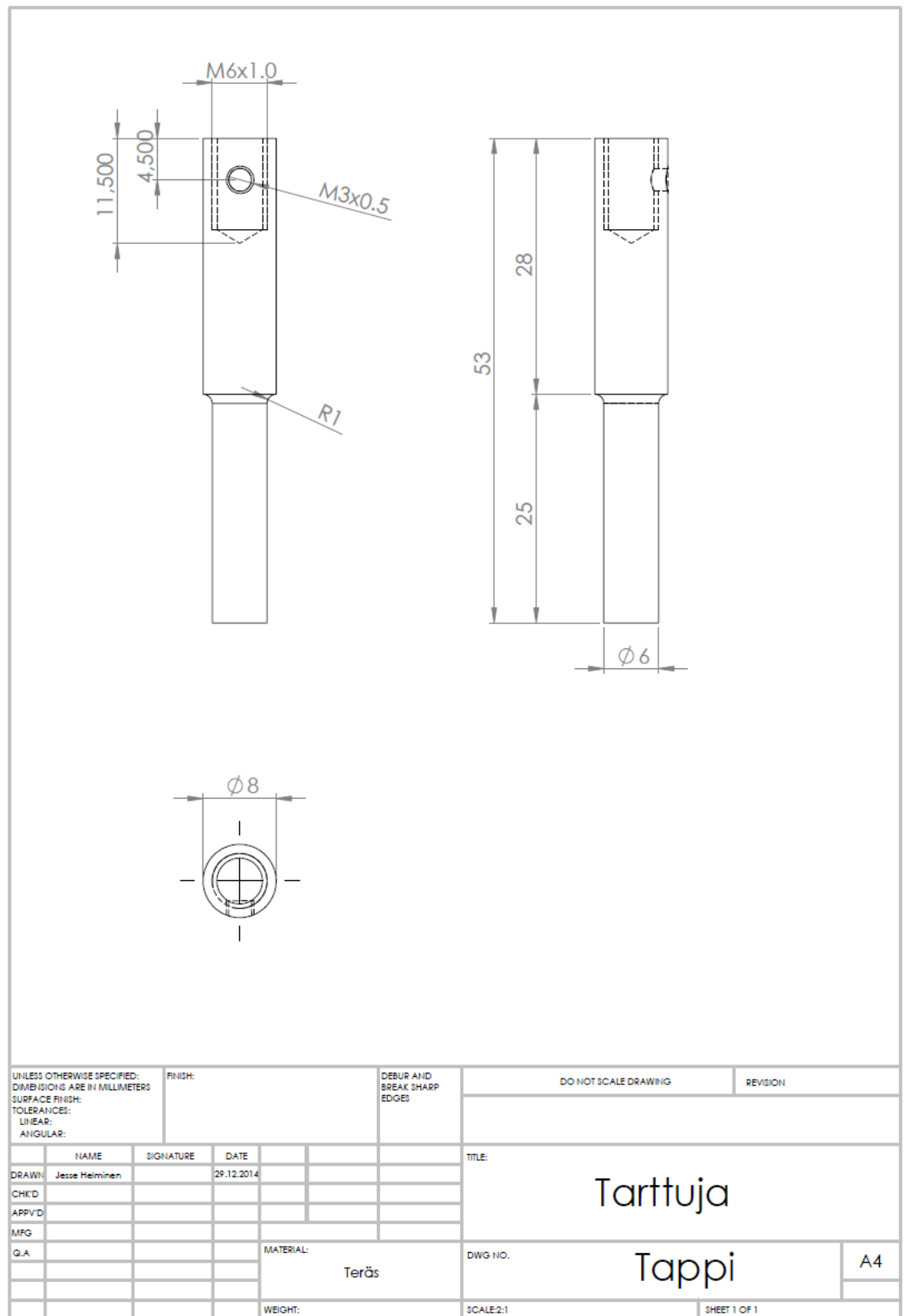


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:								<div style="text-align: center;"> <h1>Tarttuja</h1> <h2>Yhdyslevy</h2> </div>			
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:			
DRAWN		Jesse Helminen		29.12.2014				<div style="text-align: center;"> <h1>Tarttuja</h1> <h2>Yhdyslevy</h2> </div>			
CHK'D											
APP'D											
MFG											
Q.A.											
				MATERIAL:		Alumiini		DWG NO.		A4	
				WEIGHT:				SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	

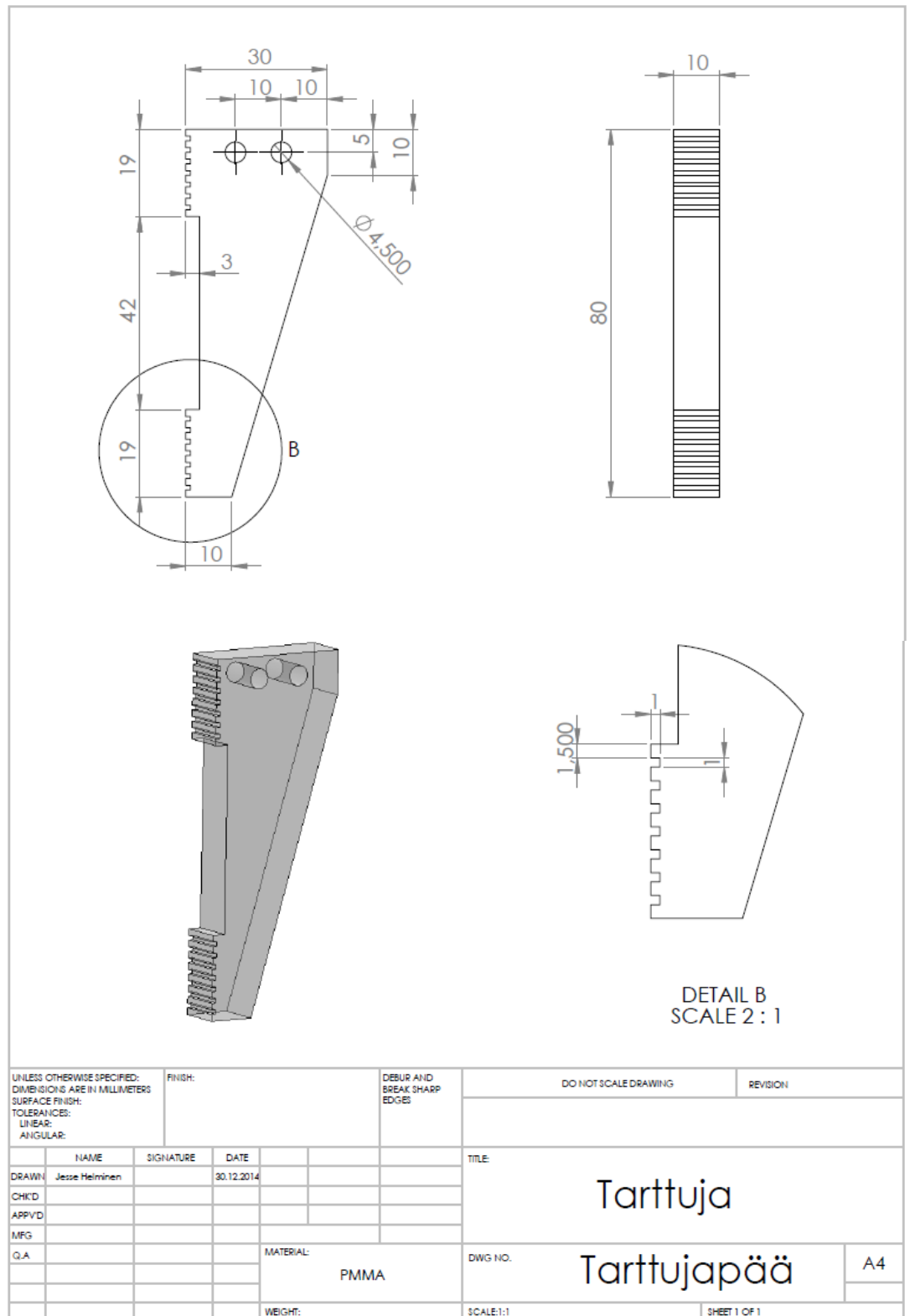
## LIITE 8. Suojalevy



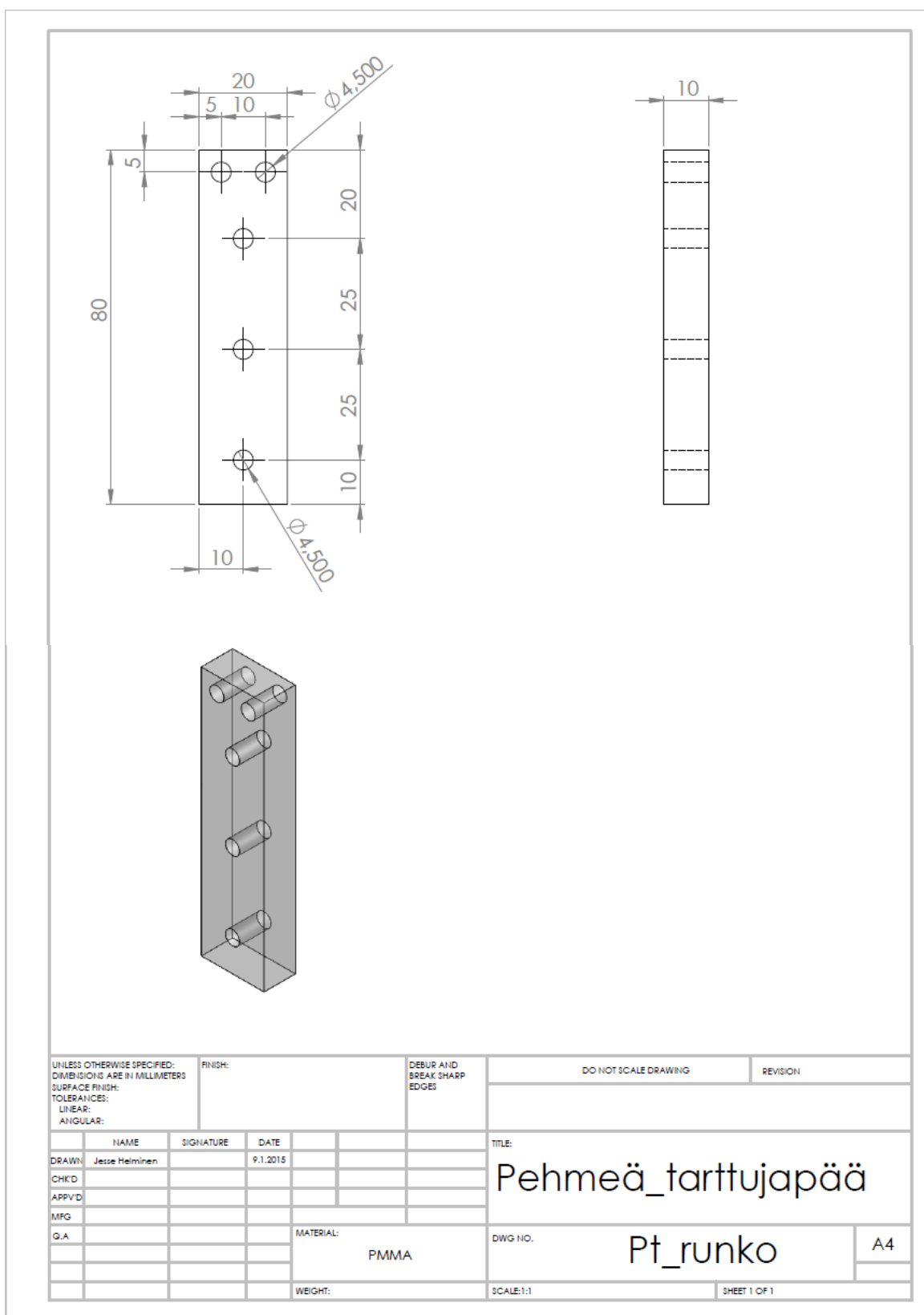
## LIITE 9. Tappi



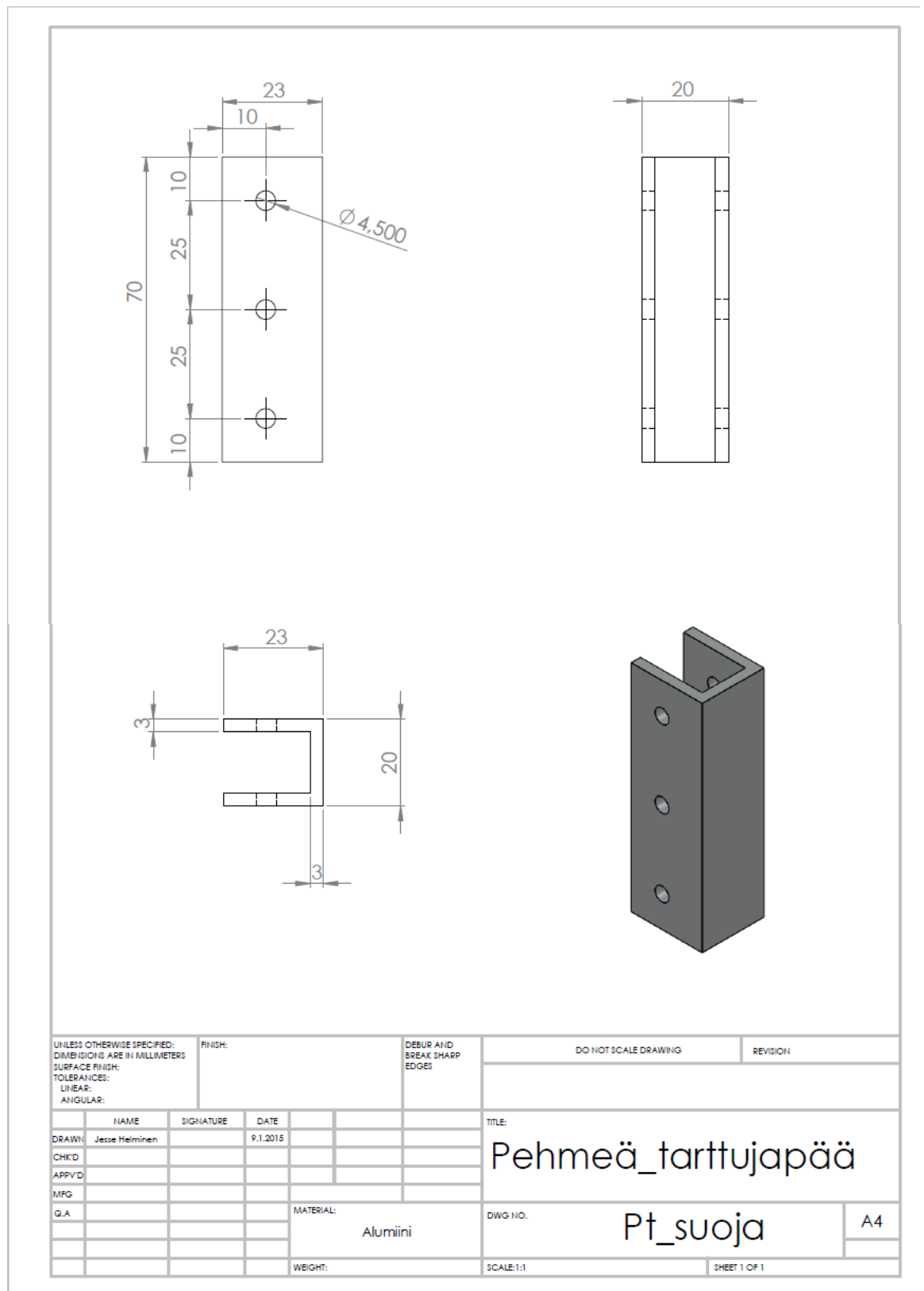
LIITE 10. Tarttujapää



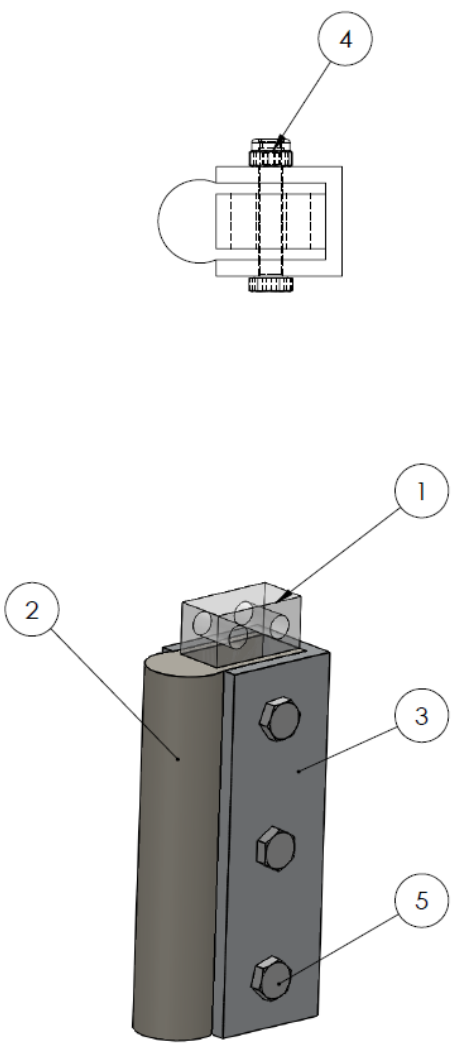
## LIITE 11. Pehmeän tarttujapään runko



# LIITE 12. Pehmeän tarttujapään suoja



## LIITE 13. Pehmeä tarttujapää



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Pt_runko	1
2	Vaahтомуovi	1
3	Pt_suoja	1
4	Lukkomutteri M4	3
5	Ruuvi M4x25	3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN: Jesse Heikinen				SIGNATURE		DATE: 9.1.2015		TITLE: Tarttuja			
CHK'D								DWG NO. Pehmeä_tarttujapää A4			
APP'VD											
MFG											
Q.A											
						MATERIAL: PMMA, Vaahтомуovi, Alumiini		SCALE: 1:1			
						WEIGHT:		SHEET 1 OF 1			



## LIITE 14. Tarttujan kokoonpano

